

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JEFFERSON ARRIVABENE

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE SERVIÇO REGULAR DE ÔNIBUS POR
VEÍCULOS SOB DEMANDA EM LINHAS DE BAIXO CARREGAMENTO DE
PASSAGEIROS

CURITIBA

2019

JEFFERSON ARRIVABENE

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE SERVIÇO REGULAR DE ÔNIBUS POR
VEÍCULOS SOB DEMANDA EM LINHAS DE BAIXO CARREGAMENTO DE
PASSAGEIROS

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de “Mestre em Engenharia
da Produção”, no Programa de Pós-Graduação
em Engenharia da Produção, Área
Concentração em Pesquisa Operacional, Setor
de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pécora
Junior

Coorientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

A777a

Arrivabene, Jefferson

Avaliação da substituição de serviço regular de ônibus por veículos sob demanda em linhas de baixo carregamento de passageiros [recurso eletrônico] / Jefferson Arrivabene. – Curitiba, 2019.

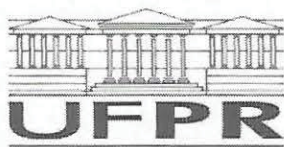
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, 2019.

Orientador: José Eduardo Pécora Junior – Coorientador: Cassius Tadeu Scarpin.

1. Mobilidade urbana. 2. Transporte público. 3. Transporte rodoviário. 4. Transportes – Trânsito de passageiros. I. Universidade Federal do Paraná. II. Pécora Junior, José Eduardo. III. Scarpin, Cassius Tadeu. IV. Título.

CDD: 388.04

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



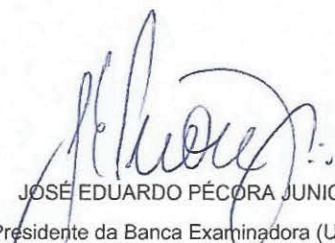
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

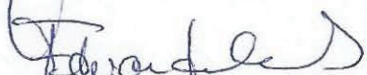
TERMO DE APROVAÇÃO

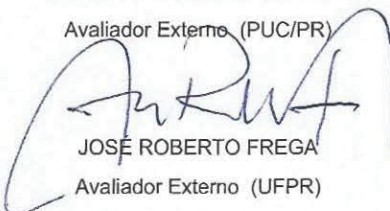
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JEFFERSON ARRIVABENE** intitulada: **Avaliação da substituição de serviço regular de ônibus por veículos sob demanda em linhas de baixo carregamento de passageiros**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

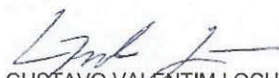
A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 28 de Fevereiro de 2019.


JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS
Avaliador Externo (PUC/PR)


JOSÉ ROBERTO FREGA
Avaliador Externo (UFPR)


GUSTAVO VALENTIM LOCH
Avaliador Interno (UFPR)

Dedico este trabalho à minha esposa Valéria, meus filhos Lorenzo e Lucas, para lhes dar o exemplo de que a forma mais gratificante de realização é aquela que provém do esforço e perseverança nos objetivos que traçamos para nossa vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me presentear com a força, condições físicas e mentais necessárias para realização desta tarefa, perseverando nos momentos difíceis dessa jornada. Meus grandes amigos e parceiros nessa vida, Valéria, Lorenzo e Lucas, meus pais, à memória de Mário, e Magali, pelo apoio e paciência nos momentos de ausência durante minha dedicação à realização desse trabalho. Aos meus amigos e Professores José Eduardo Pécora Júnior, orientador, Cassius Tadeu Scarpin, coorientador, que me ajudaram na elaboração, organização de ideias, além de me fortalecer como aluno e como pessoa para conclusão dessa dissertação. Quero ainda agradecer o Professor Arinei Carlos Lindberg da Silva que fora meu orientador no início dessa jornada. Agradecimento especial ao amigo, Márcio Rodrigues que colaborou com seus conhecimentos práticos de planejamento operacional e programação computacional, os quais foram fundamentais para conclusão deste estudo.

RESUMO

De acordo com relatório anual NTU (2018) o segmento de transporte público por ônibus perdeu cerca de 35% na quantidade de passageiros transportados desde o início dos anos 2000 até o ano de 2017, enquanto que os custos de insumos de transporte tiveram um aumento superior a 800% no mesmo período. Além disso, a evolução da tecnologia aumentou a concorrência pois facilitou o ingresso de novas formas de transporte com o advento dos aplicativos móveis de compartilhamento de veículo. Todos esses fatores combinados colocaram grande pressão no equilíbrio financeiro das redes de transportes nas cidades Brasileiras, as quais começam a discutir formas para equacionar os custos e oferecer um serviço mais atrativo a seus passageiros.

Uma das fontes de desequilíbrio financeiro das redes de transporte são as linhas de baixa demanda de passageiros, onde sua operação é subsidiada por outras linhas de maior carregamento. A manutenção de linhas deficitárias é necessária para cumprir as obrigações de serviço público essencial em áreas de menor densidade populacional, assim as redes de transporte incorporam mecanismos de subsídios cruzados, onde serviços deficitários são subsidiados pelos serviços superavitários. Neste contexto, esta pesquisa busca uma alternativa para reduzir o déficit de linhas de baixo carregamento, comparando a eficiência operacional de um ônibus com linha e tabela horária fixa, com um modelo operacional de linha fixa e tabela horária flexível, onde os passageiros acionam o serviço de transporte sob demanda através de aplicativos móveis. Para isto, é empregado um modelo computacional de modelagem, simulação e exploração de cenários desenvolvido pelo autor especificamente para este estudo.

Os resultados das simulações indicam que operações de ônibus com tabela horária fixa são deficitárias quando a demanda diária de passageiros é menor que 400 passageiros por dia, enquanto que a operação sob demanda pode ser superavitária a partir de 150 passageiros por dia. Além disso, o estudo sugere que a operação sob demanda é mais lucrativa que o ônibus com tabela horária fixa quando a demanda diária é inferior a 750 passageiros por dia.

Palavras chave: Mobilidade urbana, transporte público, sob demanda, simulação, MaaS.

ABSTRACT

According to the annual report NTU (2018), since year 2000, public transport by bus lost about 35% of passenger load, in comparison with year 2017, while transport costs increased 800% on the same period. In addition to that, the evolution of technology has increased competition as it has facilitated the entry of new modes of transportation with the advent of vehicle sharing and mobile apps. All these factors combined put great pressure on the financial balance of the transport networks in Brazilian cities, who began to discuss ways to balance costs and offer a more attractive service to its passengers.

One of the sources of financial imbalance of the transport networks, are the routes with low passenger demand, which's operation is subsidized by other routes of the network with higher passenger load. Keeping low demand routes is necessary to meet essential public service obligations in areas of lower population density, so transport networks incorporate cross-subsidy mechanisms, where deficient services are subsidized by surplus services. In this context, this document seeks an alternative to reduce the deficit of low-load routes by comparing the operational efficiency of a bus with a fixed line and fix timetable, with a fixed-line and flexible timetable operating model, where passengers order the transport service on demand using cell phone and mobile apps. By this means, a computational system was specifically developed to model, simulate and explore different operational scenarios developed by the author specifically for this study.

The results of the simulations indicate that fix timetable bus operations are deficient when daily passenger demand is lower than 400 passengers per day, while on-demand operation can show a surplus from 150 passengers per day on. In addition, the study suggests that on demand operation is more profitable than the fixed timetable bus schedule when the daily passenger demand is lower than 750 passengers a day.

Keywords: Urban mobility, public transport, on demand, simulation, MaaS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VARIAÇÃO ANUAL CARREGAMENTO PASSAGEIROS	8
FIGURA 2 - VARIAÇÃO ANUAL IPKE	9
FIGURA 3 - NÚMERO DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS POR MÊS	9
FIGURA 4 - MILHÕES DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS SISTEMA URBS ENTRE 2014 E 2017	10
FIGURA 5 - VERSÃO SIMPLIFICADA DO PROCESSO DE MODELAGEM	16
FIGURA 6 - METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	17
FIGURA 7 - EVOLUÇÃO POPULAÇÃO URBANA BRASIL 1940 - 2010	19
FIGURA 8 - CUSTO MÉDIO DIÁRIO POR MODAL	20
FIGURA 9 - MODAIS MAIS UTILIZADOS	21
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DISTRIBUIÇÃO FROTA OPERAÇÃO ÔNIBUS	25
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DISTRIBUIÇÃO FROTA OPERAÇÃO MULTIMODAL	26
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DA LINHA QUE CORTA O MUNICÍPIO DE CURITIBA DE NORTE A SUL	28
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO DA LINHA FICTÍCIA CRIADA PARA AS SIMULAÇÕES DESTE ESTUDO	29
FIGURA 14 - FLUXO DE PLANEJAMENTO OPERACIONAL ÔNIBUS	31
FIGURA 15 - MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO ÔNIBUS	33
FIGURA 16 - MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO SOB DEMANDA COM VEÍCULOS ACIONADOS POR APLICATIVOS MÓVEIS	35
FIGURA 17 - ETAPAS MODELAGEM DE DADOS	36
FIGURA 18 - FLUXOGRAMA TAREFAS PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	37
FIGURA 19 - FLUXO DE AÇÕES SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	45
FIGURA 20 – DEMANDA MÉDIA POR INTERVALO	48
FIGURA 21- COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 6 LUGARES E FRT	51
FIGURA 22 - COMPARATIVO TEMPO DE ESPERA DRC 6 LUGARES E FRT	51

FIGURA 23 - COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 3	
LUGARES E FRT	53
FIGURA 24 - COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 3	
LUGARES E FRT	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	14
TABELA 2 - TEMPOS, DISTÂNCIAS, POSSIBILIDADES DE EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS	38
TABELA 3 - DETERMINAÇÃO FAIXAS HORÁRIAS	39
TABELA 4 - DETERMINAÇÃO CAPACIDADE, HVD E ITERAÇÕES	39
TABELA 5 - PARÂMETROS VIAGENS	40
TABELA 6 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO DRC – FIAT DOBLÓ DRC ₆	41
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO DRC – VOLKSWAGEN GOL DRC ₃	41
TABELA 8 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO FRT – VOLARE ATTACK 6	43
TABELA 9 - CÁLCULO CUSTO OPERAÇÃO FRT	44
TABELA 10 - RESULTADO 1 ITERAÇÃO GERAÇÃO DEMANDA – FREQUÊNCIA 30 MINUTOS	46
TABELA 11 - RESUMO 100 ITERAÇÕES GERAÇÃO DEMANDA – FREQUÊNCIA 30 MINUTOS	47
TABELA 12 - RESULTADO OPERACIONAL POR MODAL E COMPARAÇÃO DRC ₆ CAPACIDADE 6 PASSAGEIROS VS FRT	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.2	OBJETIVOS	7
1.2.1	OBJETIVO GERAL	7
1.2.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS	7
1.3	JUSTIFICATIVA	7
1.4	DELIMITAÇÃO	12
1.5	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	14
2.2	CONCEITOS DE MODELO	17
2.3	TRANSPORTE URBANO NO BRASIL	18
2.4	MODAL ÔNIBUS	20
2.5	TRANSPORTE Sob DEMANDA	21
2.6	SISTEMAS MULTIMODAIS DE TRANSPORTE	24
3	MATERIAL E MÉTODO	26
3.1	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE PESQUISA	27
3.2	ESTUDO DO PROBLEMA A SER SIMULADO	27
3.3	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO ÔNIBUS	29
3.4	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO SOB DEMANDA	34
3.5	MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA	36
3.5.1	“SETUP” ÁREA DE SERVIÇO	38
3.5.2	DETERMINAÇÃO PARÂMETROS VIAGENS	38
3.5.3	GERAÇÃO DE DEMANDA	39
3.5.4	DEFINIÇÃO CUSTOS OPERACIONAIS	40

3.6	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	44
3.7	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	45
4	REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS..	49
4.1	CENÁRIO 1: DRC CAPACIDADE 6 PASSAGEIROS	49
4.2	CENÁRIO 2: DRC CAPACIDADE 3 PASSAGEIROS	52
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .	54
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O segmento de transporte de passageiros é fundamental para o funcionamento e eficiência das cidades. Grandes metrópoles no Brasil e no mundo sofrem com grandes congestionamentos e muitas horas são desperdiçadas nos deslocamentos diários das pessoas. A priorização do transporte coletivo é fundamental para a melhoria da eficiência da mobilidade, diminuição dos tempos de deslocamento urbano e redução do congestionamento. O apelo por mudanças é urgente, em especial quando os indicadores de desempenho do transporte público por ônibus caem ano após ano, segundo anuário estatístico NTU (2018), as grandes redes de transporte urbano por ônibus no Brasil perderam 35,6% do volume de passageiros transportados em pouco mais de 20 anos, somente em 2017, houve nova queda de 9,5% na demanda de passageiros nas principais regiões metropolitanas no Brasil, a terceira maior da série histórica que se iniciou na metade da década de 1990 NTU (2018).

O rápido avanço da tecnologia modifica diversos setores da economia e da mesma forma a mobilidade urbana. A disponibilidade de acesso à internet através de dispositivos móveis como smartphones, trouxe novas alternativas de gestão e negócio. A inteligência da mobilidade é, cada vez mais, baseada na gestão em tempo real do desejo de deslocamento das pessoas no espaço urbano. A ineficiência de modelos estabelecidos e exauridos com o tempo, tais como os serviços de taxi, foi revelada com o aumento da concorrência e os forçaram a se modernizar para competir com a concorrência dos aplicativos de transporte como UBER e 99, além disso, essa nova modalidade de transporte retirou parte da relevância do modelo de concessões de ônibus estabelecido no Brasil que exige grande volume de investimento e imobilização de capital.

A integração modal é uma necessidade, e estudos sugerem que os aplicativos móveis, táxis, bicicletas elétricas, aluguel de carros, possam complementar o transporte público MURPHY (2016). Não obstante, essa integração é um grande desafio para os agentes reguladores de transporte, devido à enorme massa de dados gerada pelas grandes redes de transporte público. FATNASSI *et al.* (2016) sugere o uso de uma estratégia dinâmica de conexão intermodal que melhora a eficiência dos veículos. O uso compartilhado

de um veículo a motor, bicicleta ou outro modo, permite aos viajantes obter acesso rápido a outros modais de transporte conforme sua necessidade SHAHEEN; CHAN (2016), a integração das redes de ônibus com os novos modelos sob demanda acionados por aplicativos móveis, vem sendo tentada através de iniciativas independentes, porém essa união é uma prática que não possui um bom histórico na Justiça Brasileira e somente em 2018 com a promulgação da lei 13.640, apelidada de “Lei do Uber”, conferiu aos Municípios a competência exclusiva para regulamentar e fiscalizar o serviço de transporte remunerado privado, individual e coletivo, sob demanda, acionado por aplicativos móveis. Segundo reportagem da revista Diário do Transporte MARQUES (2019), em face dessa nova legislação, a cidade de Goiânia lançou em 2019 um novo serviço de transporte coletivo sob demanda chamado Citybus 2.0, que embora ainda não esteja integrado a rede de transporte municipal, é um projeto piloto que servirá de base de dados para futura integração com sistema de linha e tabela horária daquela cidade.

A integração multimodal precisa ser feita de forma coordenada para evitar efeitos indesejáveis ao sistema SCHALLER (2018). De forma independente, aplicativos como Uber e 99 tendem a causar desordem no sistema e congestionar o trânsito Li *et al.* (2016), pois os motoristas de aplicativos se concentram em áreas adensadas onde há um maior número de solicitações de viagens, porém na maioria das vezes, transporta apenas um passageiro por viagem. Além disso, o tempo de espera entre viagens faz com que os motoristas adicionem quilometragem ociosa entre as viagens produtivas, concentrando-se em regiões já sobrecarregadas de trânsito.

MaaS - Mobility As a Service, é um novo conceito do serviço de transporte que propõe uma mudança do modelo de propriedade pessoal para soluções de mobilidade que são consumidas como serviço. HEIKKILÄ (2014), ajudou a popularizar a noção de *MaaS* em sua apresentação durante a 10ª Conferência Europeia de ITS em Helsinque no ano de 2014. O *MaaS* é possível pela combinação multimodal de serviços de transporte, integrando operadores de transporte públicos e privados por meio de um *gateway* unificado que cria e gerencia a viagem, integrando as redes de transporte e meios de pagamento. Modelos mais avançados sugerem que os passageiros possam pagar a viagem

diretamente no aplicativo, ou aderir a uma mensalidade para ter acesso irrestrito ao serviço de transporte durante o período da contratação.

Segundo GAO *et al*, (2019), as características econômicas de distintos modais de transporte são os principais fatores a considerar na definição do modelo de transporte a ser adotado e a rede transporte público deve ser montada observando as características da rede viária municipal. Portanto, antes da implementação de uma nova linha de transporte de passageiros, seria recomendável avaliar qual modelo seria mais adequado dada as características operacionais daquela rede de transporte. Desta forma, a questão a ser respondida é se o modelo de transporte a ser adotado é o correto dada a expectativa de demanda da nova linha de transporte.

Neste estudo, o autor considerou duas formas operacionais de uma mesma linha transporte com itinerário fixo, a primeira sob demanda onde o passageiro aciona o serviço através de aplicativos móveis e a segunda onde o veículo trabalha num regime tradicional de tabela horária fixa. Sua análise usou a simulação de Monte Carlo, comparando o resultado econômico derivado de uma variação de demanda. Segundo CHWIF; MEDINA (2014) a simulação de Monte Carlo ou Simulação Estática, o tempo não é o parâmetro mais importante. Neste contexto, o modelo criado pelo autor, a variável aleatória é a demanda de passageiros que é gerada randomicamente por parâmetros pré-determinados de frequência e quantidade máxima de passageiros dentro de uma faixa horária da operação.

Segundo CHWIF; MEDINA (2014) para que o estudo da simulação seja bem sucedido, devem-se seguir certos passos que são conhecidos na literatura como “metodologias de simulação”. Segundo BASTOS *et al*. (2019), o desenvolvimento de um modelo de simulação compõe-se de três grandes etapas:

- Concepção ou formulação do modelo;
- Implementação do modelo;
- Análise dos resultados do modelo.

Na primeira etapa, “concepção”, deve-se ter o entendimento claro do sistema a ser simulado e seus objetivos, definição do escopo com suas hipóteses e níveis de detalhamento. Na segunda etapa, “implementação”, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através da utilização de

alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial. Neste estudo, o autor construiu um simulador específico utilizando a linguagem de programação VBA.

Assim nesse primeiro capítulo é inicialmente apresentado a relevância de se comparar estas duas formas de transporte, e, posteriormente, são apresentados o problema estudado, a hipótese a ser avaliada, os objetivos gerais e específicos, as justificativas, as delimitações e, por fim, a estrutura do trabalho da pesquisa.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Conhecer os deslocamentos da população é fundamental para o planejamento do transporte público. O espaço urbano, tanto na sua estrutura física como nos aspectos de uso e ocupação, apresenta uma forte relação com o transporte. CUNHA (2005) destaca que as correlações entre os desenhos urbanos, a estrutura operacional e o desenho viário manifestam-se de forma natural com o desenvolvimento das cidades.

O planejamento de transporte pode ser definido em duas partes distintas: primeiro efetua-se o planejamento estratégico onde serão definidas as linhas, posição dos pontos de paradas, posição e capacidade dos terminais de integração, enfim toda infraestrutura da rede de transporte na qual os veículos irão operar e posteriormente o planejamento operacional do transporte quando serão definidos os tipos de veículos, a distribuição modal entre os diversos tipos de veículos que operaram o sistema e a frequência entre viagens que deverá atender a uma demanda de passageiros, atendendo padrões de qualidade de atendimento pré-determinados pelo gestor público.

O planejamento estratégico inicia-se quando gestores públicos constroem uma matriz origem/destino (matriz OD) e pela determinação de padrões de deslocamento na área onde se estabelecerá a rede de transporte. Existem diversas formas para construção dessa matriz que irá determinar a quantidade e volume da oferta de transporte, dados coletados de diferentes fontes possuem diferentes níveis de detalhes e aplicabilidade. O dispositivo AVL (*Automated Vehicle Location*) é instalado no ônibus para traçar a localização do ônibus junto com o número de passageiros. O APC (*Automated Passenger*

Counting) faz a contagem de embarque e desembarque usando sensores fixados perto das portas. Em alguns casos, os dados da APC são o subproduto dos sistemas de bilhetagem, pois os dados são registrados quando o passageiro paga pela passagem CYRIL *et al.* (2017). Nos últimos anos, o foco da pesquisa está na estimativa da matriz OD a partir dos dados de bilhetagem considerando transferências e encadeamento de viagens. A estimativa da matriz OD usando o sistema de bilhetagem somente de entrada é uma das principais áreas de pesquisa.

No Brasil a maioria dos órgãos gestores de transporte ainda utilizam métodos de pesquisa manual e entrevista dos usuários de transporte. Não obstante, a popularização de novas tecnologias possibilita a atualização desses dados de uma forma mais eficaz e rápida. HAKEGARD (2018), e estabelece uma forma de estabelecimento da matriz OD através de dados estatísticos derivados de sistemas Wi-Fi e APC (*Automatic Passenger Counting*).

Novos sistemas de transporte não possuem quaisquer dados para estabelecimento da matriz OD, desta forma, pode-se iniciar tal estudo a partir dos dados disponíveis da distribuição da população no território, da estrutura da atividade econômica, da atividade educacional e social, localização dos centros comerciais, as estatísticas de mobilidade urbana, características geográficas da cidade ou região onde será implantada a rede de transporte. Não obstante à técnica de construção da matriz OD, gestores públicos tentam construir a rede de transporte de forma a atender padrões mínimos de qualidade que julgam ser necessários para o atendimento da população.

Este procedimento se manteve sem questionamento, pois havia pouca concorrência de outros modais e o equilíbrio econômico do sistema de transporte era relativamente facilmente atingido, em parte às custas de um serviço que em muitas vezes não satisfazia o desejo de mobilidade do passageiro.

O advento de novas tecnologias e o maior acesso das camadas mais pobres da população à crédito para compra do veículo próprio, expôs as deficiências do modelo estabelecido, tirando fatia importante dos passageiros do sistema e desequilibrando as contas de grande parte das redes de transporte estabelecidas no país, resultando numa maior necessidade de subsídios governamentais para suportar os custos operacionais e transportar uma quantidade menor de passageiros.

Desta forma, antes de se implantar uma nova linha ou rede de transporte, é recomendável avaliar se o modelo a ser implantado é o ideal, face as características daquela demanda de passageiros, pensando em dirimir os custos operacionais globais e aumentar a qualidade do transporte oferecido aos passageiros. A perspectiva de se maximizar o uso operacional e reduzir os custos da operação de transporte, o presente trabalho acadêmico utilizará uma metodologia de modelagem e simulação capaz de caracterizar cenários comparativos entre o modelo operacional vigente e um segundo modelo que utilizará veículos acionados por aplicativos móveis.

A metodologia de modelagem e simulação empregará software de simulação baseado em eventos discretos – por possibilitar a construção de modelos de forma mais gráfica e menos textual CHWIF; MEDINA (2014) – além da coleta e análise de dados, modelagem, exploração de cenários, avaliação de desempenho e conclusão.

Consequentemente, será possível comparar os custos e a eficiência de cada um dos modais em linhas de baixa demanda de passageiros utilizando-se da análise de Monte Carlo num modelo desenvolvido pelo autor em linguagem VBA.

DESSA (2018) CEO da empresa Pantonium com sede na cidade de Toronto no Canadá, mostra que estudos revelaram que serviços flexíveis sob demanda, são bastante eficientes quando aplicados em áreas cuja densidade populacional variam entre 13 a 26 pessoas por quilômetro quadrado (correspondente a uma população rural), ou então em outras áreas suburbanas com densidade populacional até 2500 habitantes por quilômetro quadrado.

A linha fictícia objeto deste estudo foi criada no município de Pinhais no estado do Paraná e segundo dados divulgados pelo IBGE (2017), Pinhais possui densidade demográfica de 121,81 habitantes por quilômetro quadrado, desta forma, dentro da faixa de baixa densidade demográfica e compatível com a tese do autor.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto nos custos, na eficiência e nos tempos de espera dos passageiros, quando há a substituição de um serviço regular de ônibus com tabela horária fixa por um serviço sob demanda acionado por aplicativos móveis.

1.2.2 Objetivo Específicos

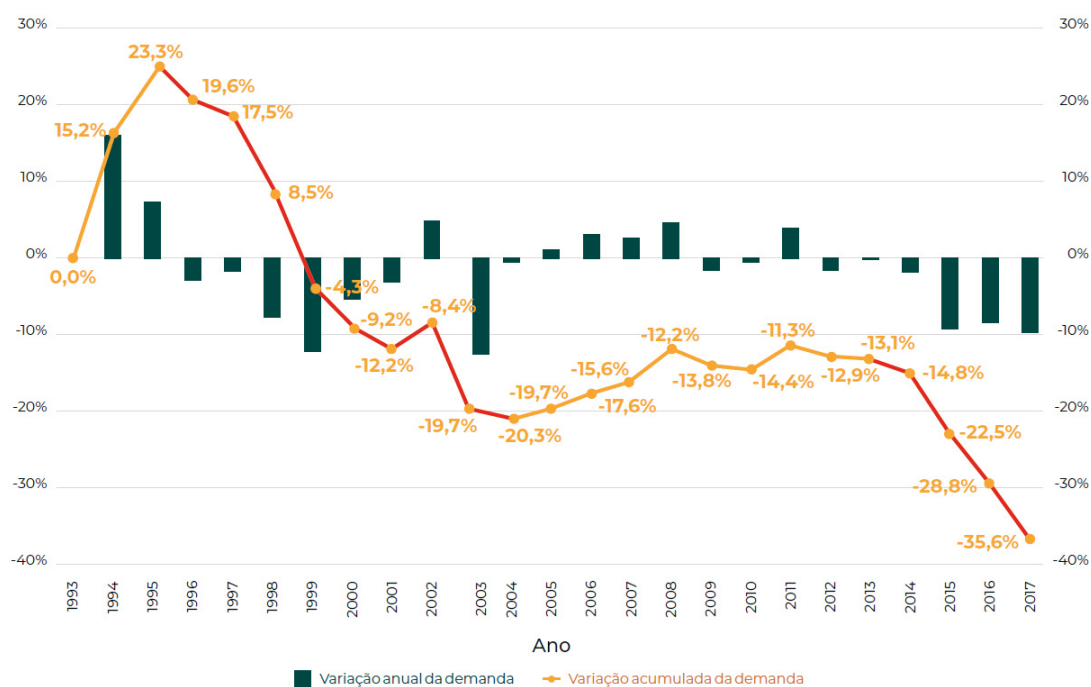
- a) Avaliar o impacto nos custos e na rentabilidade da operação de uma linha de ônibus urbano ou metropolitano, quando há a substituição de um serviço regular de transporte operado por ônibus com tabela horária fixa, por um serviço sob demanda operado por veículos com menor capacidade de passageiros acionado por aplicativos móveis
- b) Medir a eficiência deste novo modelo com base no tempo de espera do passageiro comparando-o ao tempo de espera do mesmo passageiro numa operação regular de ônibus com intervalo entre viagens pré-definido;
- c) Estimar o ponto de equilíbrio financeiro das diversas operações simuladas;

1.3 JUSTIFICATIVA

Vários dados do setor de transporte de passageiros indicam que é significativa a redução do número de passageiros transportados pelas redes de ônibus no Brasil, é o que aponta levantamento divulgado pelo anuário NTU (2018) - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, que reúne as 500 maiores empresas de ônibus em todo o País.

A Figura 1 registra a variação no carregamento total de passageiros desde 1993 até o ano de 2017.

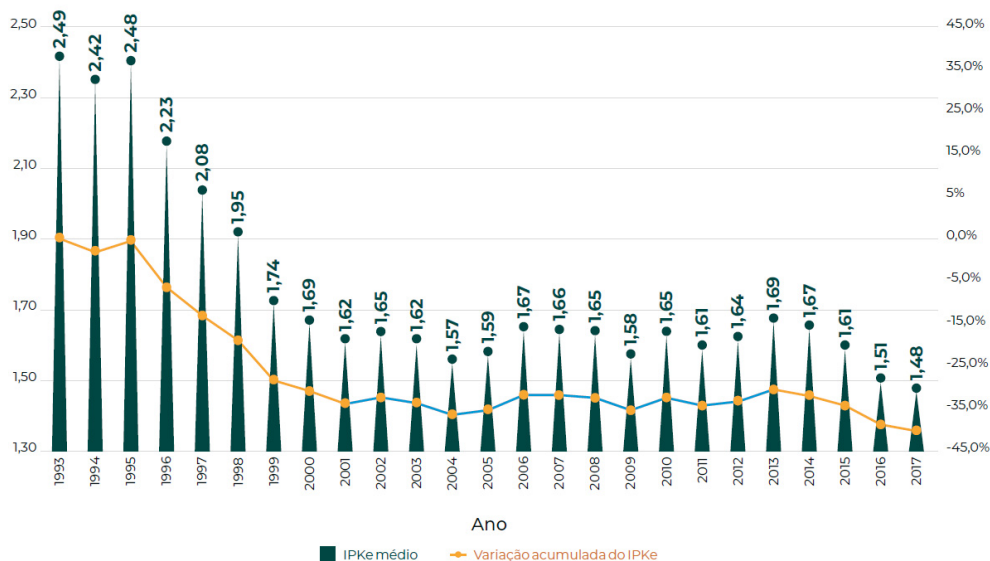
FIGURA 1 - VARIAÇÃO ANUAL CARREGAMENTO PASSAGEIROS



FONTE: NTU (2018)

Cada ônibus também está menos produtivo. Apesar de o mercado oferecer veículos com mais capacidade, como superarticulados e biarticulados, a quantidade de passageiros transportados por veículo caiu substancialmente, conforme Figura 2, o IPKe – Índice de Passageiros Equivalentes por Quilômetro, ou seja, o total de passageiros pagantes transportados a cada quilômetro do ônibus em operação, caiu de 2,49 para 1,48 no mesmo período, ou seja, além de transportar menos passageiros globalmente, cada veículo está transportando menos passageiros individualmente.

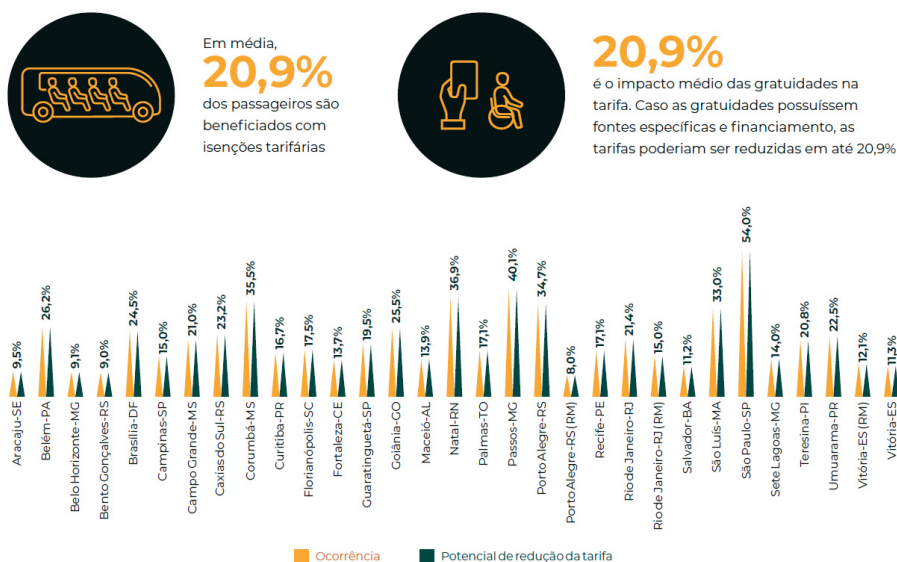
FIGURA 2 - VARIAÇÃO ANUAL IPKe



FONTE: NTU (2018).

A queda do número de passageiros equivalentes também reflete o número de aumento das gratuidades. Existem menos passageiros totais nos sistemas de ônibus e menos ainda passageiros que pagam a tarifa. A Figura 3 mostra o percentual de gratuidades nos principais sistemas de transporte do Brasil.

FIGURA 3 - NÚMERO DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS POR MÊS



Fonte NTU 2018

No caso específico do município de Curitiba, rede na qual o autor baseou seus estudos, de acordo com a URBS - Urbanização de Curitiba, na comparação

de 2016 para 2017 o sistema de transporte de Curitiba apresentou perda de 14% no número de passageiros transportados o que equivale a uma redução de 7,6 milhões de passageiros em um ano.

A Figura 4 mostra queda de 23,5% ou 14,1 milhões de passageiros transportados pelo sistema URBS entre os anos de 2014 a 2017.

FIGURA 4 - MILHÕES DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS SISTEMA URBS ENTRE 2014 E 2017

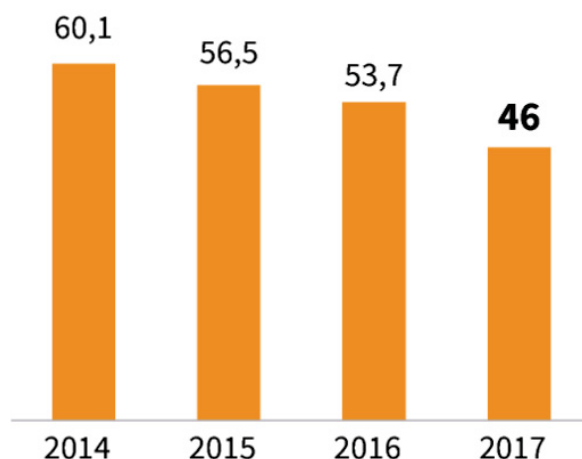


FIGURA 8 - Fonte URBS 2017

A queda de passageiros trouxe desequilíbrio financeiro aos sistemas de transporte coletivo, segundo a NTU (2018), 30% das empresas operadoras de ônibus no Brasil estão à beira do colapso financeiro, o descumprimento dos contratos de concessão e o adiamento de reajustes tarifários acordados, têm agravado o desequilíbrio financeiro do setor: ainda segundo a NTU (2018), 10% das empresas de transporte coletivo fecharam as portas entre 2014 e 2017, e 30% do segmento, cerca de 600 empresas, enfrentam alto grau de endividamento e risco de insolvência; o problema atinge especialmente as pequenas e médias empresas, afetando a qualidade do serviço ofertado.

Operadores de ônibus e municípios vem buscando equilibrar as contas através de ajustes tarifários, otimização da operação e subsídios governamentais, porém algumas dessas ações criaram um círculo vicioso onde mais passageiros deixam o sistema em busca de alternativas de transporte mais eficientes. Como não há uma expansão significativa na malha de trens e metrô

no Brasil nos últimos anos, isso significa que toda esta demanda está indo, na maior parte das vezes, para o transporte individual.

Por outro lado, novas tecnologias como a dos aplicativos móveis que promove o compartilhamento de veículos, avançam sua participação na mobilidade urbana. No Brasil empresas como Uber e 99, iniciaram suas operações no ano de 2014 e 2012 respectivamente, apresentam constante crescimento do número de usuários. Segundo UBER (2018), que é a maior operadora deste segmento, até o mês de janeiro de 2019, esta possuía 22 milhões de usuários cadastrados e 600 mil motoristas ativos no Brasil, enquanto a 99 (2018) possui 18 milhões de clientes cadastrados e os mesmos 600 mil motoristas ativos no Brasil.

Até este ponto, apresentou-se argumentos justificando a presente pesquisa a partir do foco em um problema real e de uma abordagem na gestão da mobilidade urbana, que observe tendências globais de tecnologia e operação de transporte de passageiros. Entretanto, pode-se apresentar algumas considerações que justifiquem a presente pesquisa a partir do foco do emprego de metodologia de simulação de eventos discretos em estudo de sistema de transporte.

A metodologia de simulação de eventos discretos existente na literatura CHWIF; MEDINA (2014) é de fácil compreensão, o que permite o seu emprego como uma ferramenta confiável de análise e de avaliação, capaz de comparar distintos métodos operacionais de sistemas em estudo e possibilitar o planejamento de cronogramas operacionais realistas e confiáveis. Além disto, o modelo de simulação pode ser elaborado de forma a se obter suficiente flexibilidade que permita a sua adaptação e emprego em sistemas semelhantes ao estudado.

Por fim, o método de modelagem e de simulação adotado na presente pesquisa para comparar a eficiência operacional entre dois modelos operacionais em uma mesma linha de transporte, vai ao encontro do propósito da Pesquisa Operacional, uma das áreas da Engenharia de Produção. A Pesquisa Operacional, segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção, tem por objetivo resolver problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, por meio de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. Além do que, usa conceitos e métodos de

outras disciplinas científicas na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas para atingir seus objetivos. Procura, assim, introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

1.4 DELIMITAÇÃO

Este estudo foi desenvolvido a partir de um modelo teórico em uma linha de transporte de passageiros fictícia criada pelo autor. Tempos e distâncias foram obtidos através do aplicativo Google Maps e os pontos de parada foram posicionados para garantir uma certa equidistância entre os mesmos, sem considerar densidade demográfica e a viabilidade da via para estabelecimento destes na coordenada específica.

Foram considerados 1 modelo de micro-ônibus com capacidade de 20 passageiros sentados na operação com tabela fixa e 2 modelos de veículos com capacidades de 6 e 3 passageiros cada. A operação de linha fixa contou com uma frota fixa de 2 ônibus enquanto o modelo sob demanda não tinha limitação de frota.

A demanda de passageiros é gerada de forma aleatória seguindo parâmetros pré-determinados, porém algumas hipóteses simplificadoras foram adotadas na geração desta demanda:

- Veículos sob demanda com capacidades iguais;
- Frota ilimitada para serviço sob demanda;
- Pontos de embarque e desembarque são fixos;
- Não foram considerados os custos de deslocamento ocioso para ambos modelos de operação, sob demanda e tabela horária fixa;
- Os veículos seguem a sequência de pontos de parada desde o ponto inicial até o ponto de desembarque do último passageiro;
- Veículos sob demanda não fazem hora-extra;
- Não foram considerados possíveis efeitos de aumento ou perda de passageiros devido a mudança do modelo operacional;

1.5 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para THIOLENT (2005), a metodologia de uma pesquisa é o instrumento e habilidade pelo qual a investigação e a apuração do problema proposto são viabilizadas, a fim de que os objetivos traçados, conceitos, hipóteses e tomada de decisão sejam cumpridos.

GIL (2002) associa a natureza aplicada à vontade de melhorar a eficácia ou a eficiência de algo, tal como esta pesquisa, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de um problema específico e comparar a qualidade do atendimento aos passageiros do transporte público em uma linha de baixa demanda, entre um serviço ônibus com frequência definida e um serviço acionado por aplicativos móveis atendidos.

É uma pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito e construir uma hipótese que poderá ser replicada em outros sistemas de transporte. Envolve simulação de dados a fim de auxiliar outros operadores ou órgãos gestores na avaliação de qual melhor tipo de serviço deverá ser aplicado em uma determinada linha da rede de transporte.

A pesquisa foi caracterizada como quantitativa pois seu objetivo principal é a produção de índices numéricos para comparação econômica e operacional entre os dois tipos de serviço.

Como a intenção deste trabalho é comparar duas formas distintas de operação visando a melhoria do resultado no atendimento de uma demanda de passageiros em uma linha de transporte público, foi possível classificar o estudo como sendo do tipo exploratório, pois um estudo com propósito exploratório visa proporcionar maior visibilidade a um modelo com vistas a torná-lo explícito ou construir hipóteses GIL (2002).

O procedimento técnico utilizado foi o método de simulação de eventos discretos, pois analisa dados de carregamento dos veículos, comparando a receita e custo operacional para cada uma das opções de veículo ofertado em uma sequência de eventos discretos no tempo.

A coleta de dados foi uma mescla de levantamento bibliográfico com a técnica de generalização de dados reais, pois visa simular situação prática observada em operação similar.

A pesquisa foi classificada conforme os itens apresentados em vermelho na tabela 1.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Natureza	Forma de Abordagem	Objetivos	Procedimentos técnicos	Técnica de coleta de dados
Básica	Qualitativa	Exploratória	Pesquisa Documental	Questionário
Aplicada	Quantitativa	Descritiva	Pesquisa Bibliográfica	Entrevista
		Explicativa	Levantamento	Coleta de documentos da empresa
			Experimento	Levantamento bibliográfico
			Pesquisa-Ação	Monitoramento do processo
			Observação	Generalização de dados reais
			Estudo de Caso	
			Simulação de eventos discretos	

Fonte: O autor

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo inicialmente apresenta uma revisão bibliográfica de metodologia de modelagem e simulação de eventos discretos, em seguida são apresentados dados do segmento de transporte de passageiros no Brasil, dados da linha específica objeto de estudo desta pesquisa e um levantamento bibliográfico de estudos na área de transporte de passageiros relacionados com transporte sob demanda.

2.1 METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

CREMONESE (2014) afirma que simulação é o processo de execução do modelo, entretanto CHWIF; MEDINA (2014) apresenta diversas abordagens para responder essa pergunta, entre as quais, se destaca a de que a simulação

não é uma ferramenta estritamente de otimização, mas uma ferramenta de análise de cenários, em razão de não ser capaz de identificar uma solução ótima.

Modelos podem ser usados para investigar possíveis aperfeiçoamentos ou para descobrir efeitos de diferentes práticas no sistema real PIDD (2004), bem como “compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades, apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisão”, de acordo com MORABITO; PUREZA (2014), ou de uma forma mais resumida, “modelos em geral e, em particular os de simulação, são usados para propósitos diferentes: pesquisa e gerenciamento” CREMONESE (2014).

Simulação, enquanto técnica de resolução de problemas, antecede em o aparecimento de computadores digitais CREMONESE (2014) entretanto, o aumento da capacidade computacional e a consequente redução do custo de operação, além dos avanços da metodologia de simulação, permitiu que a simulação se transformasse em uma ferramenta amplamente usada e aceita em pesquisa operacional e análise de sistema, empregando um computador para sua realização.

Isto posto, a partir deste momento, quando se empregar a palavra ‘simulação’, se referenciará especificamente à ‘simulação computacional’, a qual pode ser classificada em três categorias básicas: simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos CHWIF; MEDINA (2014).

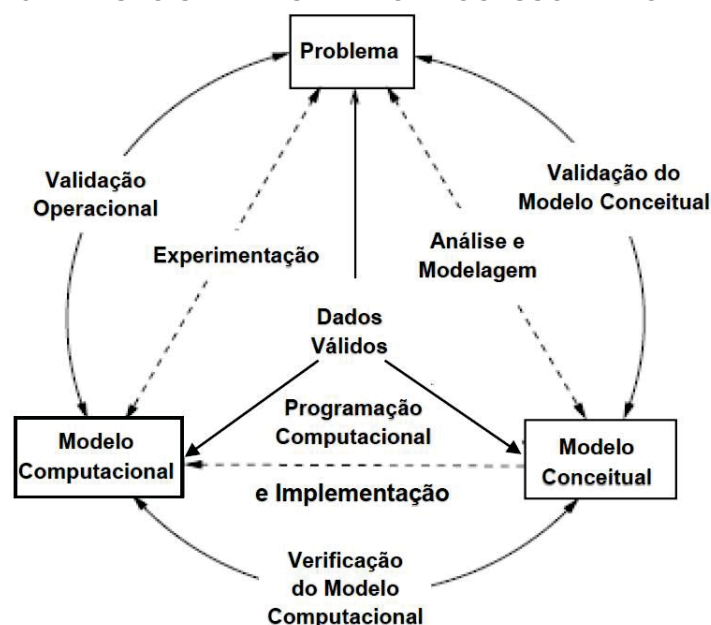
A simulação de Monte Carlo faz uso de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. Por sua vez, a simulação contínua é usada para modelar sistemas que mudam de estado continuamente no tempo e emprega equações diferenciais para calcular as mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo. Por fim, a simulação de eventos discretos é usada para modelar sistemas que mudam de estado em um momento discretos no tempo como resultado de um evento específico ocorrido e, o estado do sistema é descrito por todos os valores individuais de estado dos objetos no sistema CHWIF; MEDINA (2014). Assim, doravante, o uso da palavra ‘simulação’ deve ser compreendida como ‘simulação computacional de eventos discretos’.

Para a elaboração de um estudo de simulação, PIDD (2004) identifica a existência de três fases: estruturação do problema, modelagem e

implementação. Na estruturação o problema a ser simulado é estudado; na modelagem é desenvolvido, validado e realizado experimentações com o modelo a ser simulado; e, por fim, na implementação se busca por em prática as recomendações surgidas do estudo do problema e da análise da simulação. O autor destaca que a modelagem é um processo de aprendizagem, onde o modelo vai sendo gradualmente desenvolvido, com fases parcialmente validadas, até ser encontrado o modelo desejado.

SARGENT (2014) apresenta uma metodologia objetiva e simplificada do processo de modelagem, conforme apresentado na Figura 5, onde, o problema é o sistema real/proposto, ideia, situação, política ou fenômeno a ser modelado; o modelo conceitual é a representação (simulação) matemática/lógica/gráfica do problema desenvolvido para um estudo específico; e o modelo computacional é o modelo conceitual implementado em um computador. O modelo conceitual é desenvolvido na fase de análise e modelagem, o modelo computacional é desenvolvido na fase de programação no computador e implementação, e as inferências a respeito do problema são obtidas a partir de experimentos no modelo computacional na fase de experimentação.

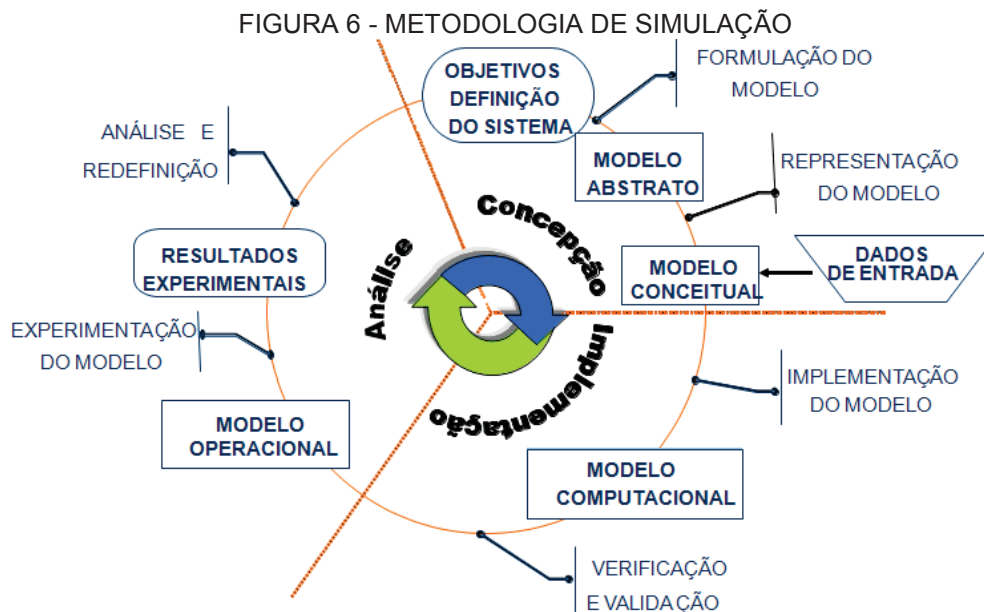
FIGURA 5 - VERSÃO SIMPLIFICADA DO PROCESSO DE MODELAGEM



Fonte Sargent (2014), adaptado

A metodologia apresentada por SARGENT (2014) é bastante similar à de CHWIF (1999), que propõe uma metodologia de simulação composta por três etapas e focada na busca pelo modelo mais apropriado para a simulação. As

etapas são: concepção ou formulação do modelo; implementação do modelo; e análise dos resultados do modelo, conforme esquematizado na Figura 6.



Fonte CHWIF (1999)

Seguindo os conceitos de simulação, a partir das propostas anteriores foi elaborada a Figura 6, na qual é apresentada uma metodologia com etapas consideradas imprescindíveis à realização de modelagem e de simulação empregando software de simulação.

2.2 CONCEITOS DE MODELO

Para PIDD (2004), modelo pode ser entendido como representação de sistema de interesse, e que é construído por cuidadosa descrição da forma na qual o sistema muda seu estado e as regras que governam seu comportamento dinâmico.

MORABITO; PUREZA (2014) define “modelo” como uma representação de uma realidade/situação, conforme a compreensão de uma ou mais pessoas, construída de forma a auxiliar a gestão de forma sistemática daquela realidade/situação. Além do que, o modelo deve ser suficiente detalhado de forma a possibilitar a captura dos elementos essenciais e representar a realidade, mas também, suficientemente simplificado de forma a possibilitar o uso de métodos de análise e resolução conhecidos. Com o que concorda

SARGENT (2014), pois para este, um modelo deve ser tão simples quanto possível e ainda alcançar seu propósito.

Modelos podem ser usados para investigar possíveis aperfeiçoamentos ou para descobrir efeitos de diferentes práticas no sistema real PIDD (2004), bem como “compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias, oportunidades, apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisão”, de acordo com MORABITO; PUREZA (2014), ou de uma forma mais resumida, “modelos em geral e, em particular os de simulação, são usados para dois propósitos diferentes: pesquisa e gerenciamento” CREMONESE (2014).

No que concerne à modelagem, a dificuldade de sua realização em processos operacionais reais está vinculada à complexidade dos mesmos, em razão de que são afetados por diferentes fatores, tais como condições operacionais do equipamento, sua manutenção, experiência dos funcionários e outros. A partir destas considerações, MORABITO; PUREZA (2014) argumentam que uma desvantagem de “problemas idealizados é que o efeito do fator humano no desempenho do processo operacional em geral é negligenciado”.

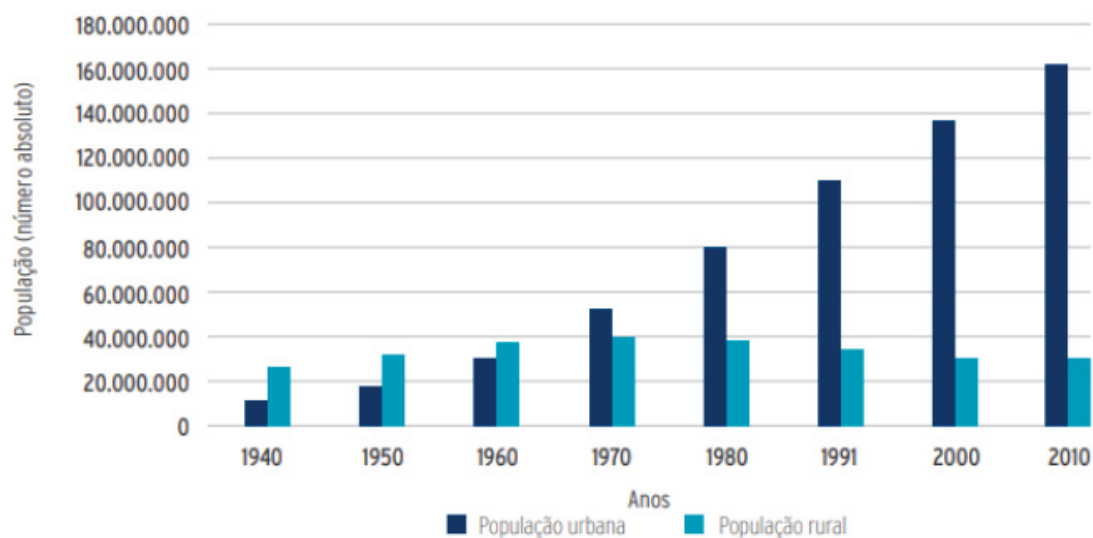
Em contrapartida, destacam que a partir da análise dos problemas idealizados é possível obter conhecimento valioso a respeito dos problemas reais. Além do que, a modelagem de problemas complexos tem se tornado viável em razão da disponibilidade de hardware e software capazes de trabalhar com a complexidade das formulações necessárias para representar tais problemas MORABITO; PUREZA (2014).

2.3 TRANSPORTE URBANO NO BRASIL

Um dos principais fatores que medem a competitividade, eficiência e grau de desenvolvimento de um país, pode sem dúvida ser medido pelo tempo gasto no deslocamento diário das pessoas nas grandes cidades, pois nestas são geradas grande parte da riqueza produzida no país.

A Figura 7 mostra a evolução da população urbana Brasileira entre os períodos de 1940 até 2010.

FIGURA 7 - EVOLUÇÃO POPULAÇÃO URBANA BRASIL 1940 - 2010



Fonte: Elaboração CNT com dados do IBGE (2001, 2007 e 2011)

Fonte IBGE (2017)

Com a rápida urbanização e a falta de correspondente planejamento urbano, o tempo que um trabalhador gasta nos deslocamentos diários aumentou significativamente nas últimas décadas impactando diretamente na qualidade de vida, produtividade e saúde do indivíduo. Em média, as distâncias percorridas pelos brasileiros são de 10,7 km com duração de 35,2 minutos. Especificamente para o motivo trabalho, que é o mais representativo, a distância média percorrida é de 13,3 km, com duração média de 37,7 minutos IBGE (2017).

Já a análise dos tempos gastos pelos brasileiros de acordo com as classes sociais revelou que as pessoas com melhores condições financeiras conseguem realizar viagens mais rápidas. As médias de duração das viagens identificadas das Classes A e B foram de 36,9 e 31,6 minutos, respectivamente. As viagens das Classes D/E possuem duração média de 43,3 minutos IBGE (2017). Um aspecto que pode justificar essa situação é a falta de priorização do transporte público, que compromete significativamente os tempos das viagens realizadas pelos ônibus. Em contrapartida, as pessoas que detêm condições de assumir os custos do carro próprio conseguem realizar viagens com maior velocidade.

O transporte individual público (táxi) e os serviços por aplicativo são os modos com maiores custos diários para os entrevistados, seguidos do automóvel, moto-táxi e o ônibus.

FIGURA 8 - CUSTO MÉDIO DIÁRIO POR MODAL



*Base de dados: 4.771 indivíduos com resposta válida para o valor gasto com os deslocamentos.

Fonte IBGE (2017)

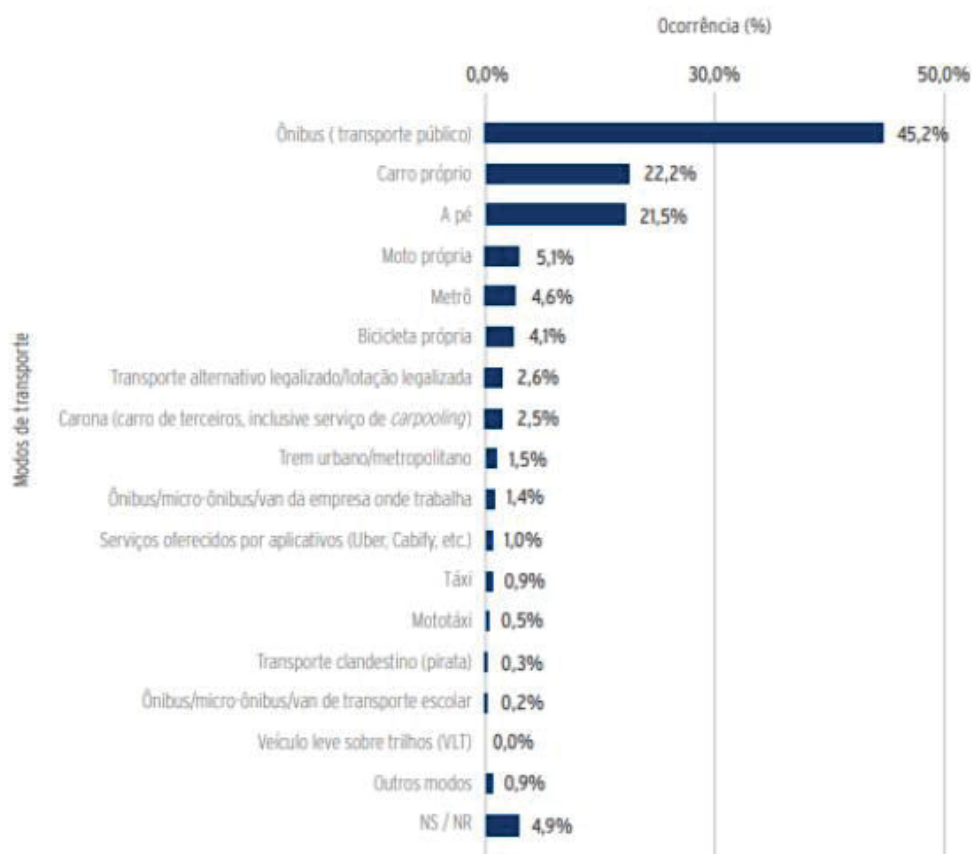
2.4 MODAL ÔNIBUS

Em uma rede de transporte equilibrada, o modal ônibus, em função de suas características, possui importância estratégica na composição do sistema de transporte. Ademais de sua capacidade de passageiros, o ônibus possui uma grande flexibilidade, e um custo por passageiro bastante competitivo principalmente quando comparados a sistemas sobre trilhos, VLT (Veículo Leve sobre trilhos) e Metrô. Esses, entre outros motivos, colocaram esse modal como o principal modo de transporte público nas maiores cidades do Brasil desde a urbanização de sua população.

Devido a sua versatilidade e custo por passageiro relativamente baixo, o ônibus passou por transformações e passou a ocupar o espaço de sistemas que

normalmente seriam atendidos por outros modais. Um exemplo disso é a recente expansão dos sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*) que conseguiram absorver uma quantidade de passageiros maior graças ao aumento da velocidade média, redução do tempo de parada e aumento da capacidade de carga dos veículos.

FIGURA 9 - MODAIS MAIS UTILIZADOS



Fonte IBGE (2017)

2.5 TRANSPORTE SOB DEMANDA

Segundo GAO *et al.* (2019), as características econômicas de distintos modais de transporte são os principais fatores a considerar na definição do

modal de transporte a ser adotado. O advento das aplicações telemáticas no transporte ao longo de mais de 15 anos contribuiu para promover o uso da tecnologia no segmento de transporte de passageiros VELAGA *et al.* (2012). KOFFMAN (2004) mostra que serviços de trânsito flexíveis têm sido utilizados em várias cidades na América do Norte como alternativa ao sistema tradicional com tabela horária fixa. NAVIDI *et al.* (2018) descreve que sistemas de transporte com acionamento sob demanda DRT (*Demand Responsive Transit*), também conhecidos como serviços *paratransit*, são sistemas de transporte público feitos sob medida nos quais os locais e horários das paradas são solicitados pelos passageiros. Eles foram originalmente projetados para ajudar pessoas com necessidades especiais na década de 1960 NELSON *et al.* (2010). A flexibilidade no design e operação da DRT chamou a atenção das operadoras de transporte público para torná-la disponível para todos. Os serviços DRT foram projetados para funcionar utilizando-se de veículos de menor porte (como táxis, minivans, micro-ônibus) que são compartilhados e operados de acordo com a demanda dos passageiros, resultando em custos mais baixos em comparação com serviço de táxis convencionais. Sistemas mais antigos dependiam de telefones fixos para os passageiros, por exemplo, no dia anterior à viagem, tecnologias emergentes de informação e comunicação facilitam a operação de sistemas DRT mais avançados, assim os passageiros podem obter informações em tempo real sobre as viagens de forma imediata, permitindo que os operadores atualizem os horários e se comuniquem com os motoristas e passageiros.

Áreas de baixa densidade populacional e consequentemente baixa demanda de passageiros, geralmente produzem linhas de transporte deficitárias, mesmo quando o nível de serviço é estabelecido abaixo dos parâmetros recomendados. Neste contexto, tecnologias de gestão e otimização de redes de transporte, pouco podem ajudar para reduzir a ineficiência dessas linhas. Vários estudos analisam novas alternativas de transporte para áreas de baixa demanda com a introdução de novos modelos operacionais que podem ser integrados a rede de transporte. Redes multimodais que utilizam o compartilhamento de um veículo motorizado, bicicleta ou outro modo - permitem aos viajantes obter acesso de curto prazo aos modos de transporte conforme a necessidade SHAHEEN; CHAN (2016).

Tradicionais modelos FRT (*Fixed-Route Transit*) têm sido comparados com modelos de transporte flexíveis DRT (*Demand Responsive Transit*). Modelos DRT podem ter uma rota pré-definida ou rota flexível. Um modelo analítico desenvolvido por LI; QUADRIFOGLIO (2010) auxilia planejadores de transporte no desenho das linhas DRT a partir de dados estáticos de demanda de passageiros de uma determinada área geográfica. Modelos estritamente sob demanda ponto a ponto podem ser operacionalmente custosos, ZHENG *et al.* (2018) comparou distintos modelos de rota variável denominados *Route Deviation*, que embora tenham uma rota pré-definida permitem ao operador pequenos desvios no itinerário, e *Point Deviation* o qual cria uma rota singular porta a porta para cada vez que o passageiro solicita o transporte. Segundo LI; QUADRIFOGLIO (2010), o DRC (*Demand Responsive Connector*) é considerado um serviço de trânsito flexível porque responde a demanda que é acionada pelo passageiro em uma área de serviço, os deslocando para um terminal de transferência que se conecta a uma rede de transporte de linha e tabela horária fixa.

WRIGHT (2013) descreve uma demanda crescente no uso de táxis compartilhados no transporte público de Londres, QIU *et al.* (2015) cita que órgãos gestores têm tentado introduzir políticas operacionais flexíveis ao mercado de trânsito público em áreas rurais e áreas urbanas de baixa densidade populacional para incentivar os moradores a deixar seus carros nas garagens quando estes visam atingir destinos próximos à origem da viagem.

No relatório NTU (2018), o segmento empresarial de ônibus urbanos vê de forma positiva a regulamentação do transporte sob demanda por aplicativos, aprovada pelo Congresso Nacional. Merece destaque a competência exclusiva dos municípios e do Distrito Federal para regulamentar e fiscalizar esses serviços, conforme estabelecido no texto sancionado, bem como as diretrizes para que a medida traga eficiência, eficácia, segurança e efetividade na prestação dos serviços. Porém, para que a Lei nº 13.640/2018 não gere graves distorções, é fundamental que no processo de regulamentação, as administrações municipais e o Distrito Federal deem especial atenção à necessidade de preservar a viabilidade econômico-financeira das redes de transporte público coletivo, evitando que os serviços sob demanda por aplicativos promovam uma concorrência predatória. Cabe às redes de transporte

coletivo urbano e metropolitano, como um serviço público essencial, garantir a prestação de um serviço universal que atenda à grande parte da área urbana e da população, com preços acessíveis a todas classes sociais, e que seja ofertado de forma contínua, mesmo nos períodos de baixa demanda. Ainda de acordo com relatório NTU (2018), é necessário que legisladores levem em conta certas modalidades do transporte por aplicativo que possuem características coletivas, como os serviços compartilhados. Essas modalidades, certamente, serão mais ofertadas nas áreas de maior demanda, levando a uma concorrência desigual que pode desequilibrar economicamente os serviços de transporte público. Para evitar que isso ocorra, é fundamental que o transporte por aplicativo coletivo, seja incorporado à rede regular do transporte público e submetido aos mesmos critérios de concessão e operação. No Brasil, modelos DRT integrados ao sistema de transporte público de passageiros, ainda são bastante incipientes e embora se tenha notícia de algumas iniciativas comerciais de operações sob demanda, não se tem conhecimento de nenhum dado científico que fora extraído, analisado e publicado em revista científica do segmento.

2.6 SISTEMAS MULTIMODAIS DE TRANSPORTE

Segundo BIELLI *et al.* (2006), um sistema multimodal MTS (*Multimodal Transport System*) é definido como sendo um sistema que inclui mais de um meio de transporte operado por uma plataforma de dados integrada. Os passageiros precisam de meios aprimorados para acessar as informações das viagens para escolher a melhor alternativa para seu deslocamento. O objetivo do MTS é aumentar a utilização e ocupação dos veículos, além de fornecer aos passageiros uma opção viável das conexões alimentadoras em áreas de baixa densidade populacional (SHAHEEN; CHAN, 2016) ao fornecer aos passageiros, especialmente aos passageiros regulares, opção de mobilidade ao longo de todo trajeto de sua viagem. Além disso, o MTS pode ser uma plataforma de planejamento de viagem na qual o passageiro terá informações sobre o serviço de trânsito, modais disponíveis, melhores rotas, conexões e tempos de viagem, antes destes iniciarem seu deslocamento.

Um sistema de transporte urbano possui uma grande variação na demanda de passageiros durante o dia de operação, porém as operadoras da rede de transporte normalmente dimensionam seus recursos operacionais, incluindo frota e tripulação, para atender a demanda máxima de passageiros nos horários de pico. A Figura 10 representa a distribuição usual da frota de ônibus durante um dia de operação em uma linha.



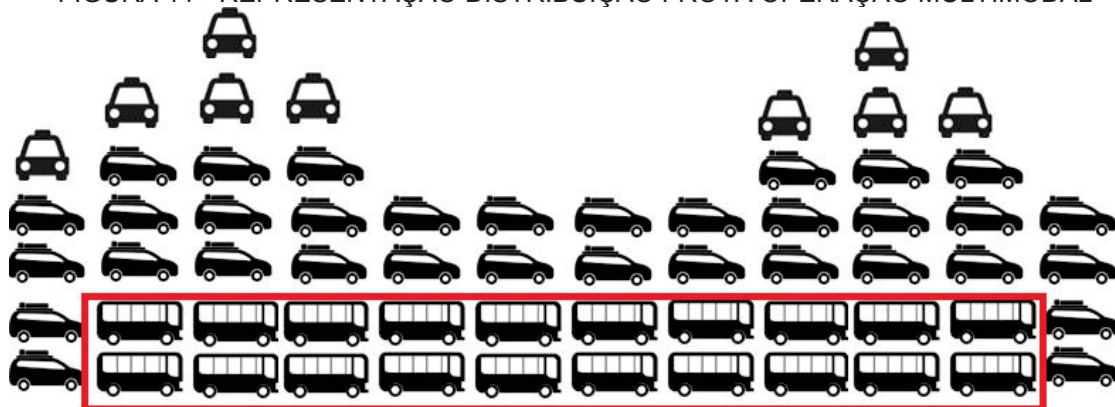
É fácil perceber que nos horários entre os picos, parte da frota ficará parada pois não há uma demanda de passageiros naquele intervalo de tempo. Operadores de transporte usam ferramentas para otimizar e homogeneizar o uso da frota ao máximo, porém uma certa ociosidade é normal em sistemas compostos exclusivamente de ônibus.

Em geral, as atividades de modelagem de transporte são uma tarefa difícil, especialmente quando se considera a configuração de um sistema multimodal. Os padrões de demanda e históricos de escolha dos modais são usados para ditar a divisão modal e a proporção de viagens que serão realizadas por cada modal disponível. Na realidade, os movimentos de pessoas não ocorrem apenas com base em um único modal. Os movimentos multimodais envolvem a contribuição de cada um desses modais observando os padrões de movimento das pessoas. Uma viagem de trabalho pode envolver a condução de um carro a uma estação de trem ou ponto de ônibus, com possibilidade de transferências adicionais dentro ou entre os modos para completar a viagem ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS (2008).

A Figura 11 representa um modelo de transporte multimodal usando veículos sob demanda DRC e ônibus FRT, observe que o modelo sugere que os ônibus terão uma taxa de utilização mais homogênea, pois estes são ativos fixos

de maior custo e maior capacidade de passageiros, logo estes poderiam precisar de uma alta taxa de utilização para garantir o retorno financeiro sobre este investimento.

FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DISTRIBUIÇÃO FROTA OPERAÇÃO MULTIMODAL



Uso homogêneo frota de ônibus durante dia de operação multimodal

FONTE: O autor (2018)

3 MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo apresenta as diversas etapas propostas nos referenciais metodológicos aqui conceituados, que orientaram a criação de um modelo de simulação capaz de solucionar o seguinte questionamento:

Quando um operador ou órgão gestor de transporte público de passageiros deve considerar a substituição de um serviço com tabela horária fixa por um serviço sob demanda acionado por aplicativos móveis, em uma linha regular de ônibus?

A necessidade de decisões qualificadas no ambiente empresarial gera demandas pelo uso de métodos matemáticos e estatísticos no auxílio ao processo decisório HAMMERSLEY (1964). Nesse contexto, o Método de Simulação de Monte Carlo é indicado para estimar e comparar os custos de operação em um ambiente de produção.

A metodologia de simulação de Eventos Discretos é viável para responder essa questão pois há disponibilidade de dados operacionais suficientes para realização do experimento. O modelo foi desenvolvido para

encontrar parâmetros de análise matemática possibilitando ao operador do sistema computacional, a tomada de decisão com base em dados econômicos e índices de qualidade operacional, tais como tempo de espera e tempo de viagem.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE PESQUISA

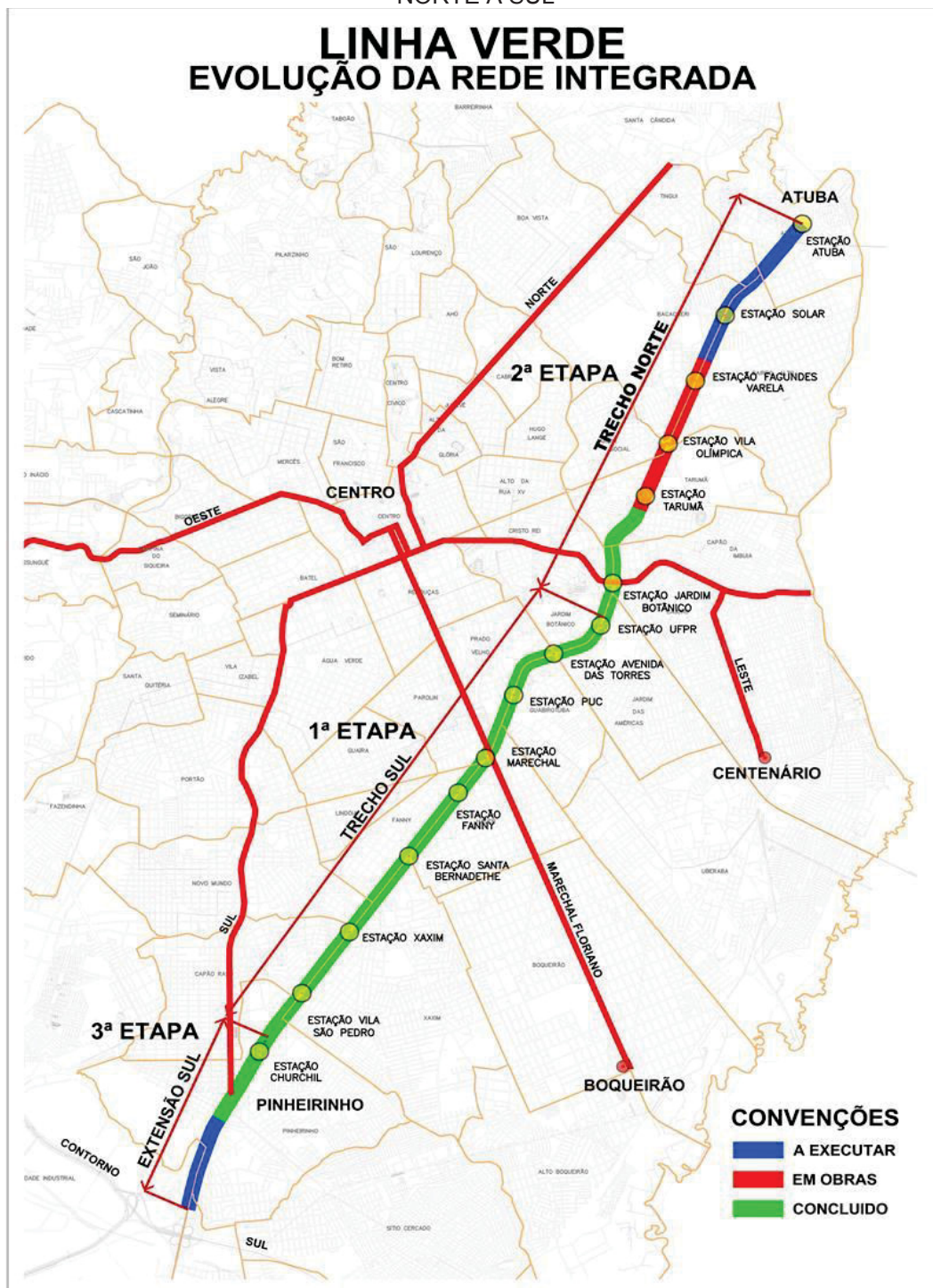
A presente pesquisa foi desenvolvida a partir da metodologia para simulação de eventos discretos descritos na base conceitual deste estudo, em especial as propostas por SARGENT (2014) e por CHWIF (1999), as quais permitiram elaborar modelo fidedigno ao sistema em estudo, o que será apresentado a seguir.

3.2 ESTUDO DO PROBLEMA A SER SIMULADO

A área de serviço considerada neste estudo é a região compreendida entre o Trevo do Atuba e o condomínio Alphaville entre as cidades de Curitiba e Pinhais no estado do Paraná. O Trevo do Atuba será a extremidade de importante linha troncal da rede de transporte público de Curitiba, chamada Linha Verde, esse trecho era parte da BR 116 que liga o Sul ao Sudeste do Brasil e foi integrado a rede viária do município nos anos 90, após a conclusão do anel viário da cidade.

A Figura 12 a seguir é a representação da linha troncal e suas conexões com outras importantes linhas da rede de transporte de Curitiba.

FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DA LINHA QUE CORTA O MUNICÍPIO DE CURITIBA DE NORTE A SUL



Fonte: Prefeitura de Curitiba (2018)

A Figura 13, o terminal do Atuba que conecta com a rede de ônibus troncal de tabela horária fixa ainda será construído, porém não há um cronograma de conclusão das obras. Essa linha foi construída com auxílio do Google Maps e será o objeto de estudo dos autores.

- b) De posse desta demanda de passageiros, o órgão gestor elabora as OSO (Ordens de Serviços Operacionais) e as envia para o operador da rede de transporte;
- c) O operador da rede de transporte elabora o planejamento operacional para sua rede de transporte, o qual serve para dimensionar os recursos necessários para a execução da operação. Tais recursos englobam a quantidade de frota para cada modelo de ônibus, quantidade de motoristas, quantidade de cobradores, fiscais, enfim, todos recursos de *hardware* e *humanware* necessários para a operação. É nesta fase que os operadores tentam otimizar ao máximo os recursos operacionais, alguns utilizam softwares específicos que buscam reduzir a quantidade de horas ociosas e horas extras da operação.
- d) O planejamento é então enviado para o setor de operação, o qual fará a escala dos recursos respeitando limitações trabalhistas, acordos sindicais para os recursos humanos e de disponibilidade de frota para os ônibus. A escala também determina a sequência de partidas dentro da garagem.
- e) Finalizada a escala, o setor de operações emite a OS (Ordem de Serviço) para cada recurso, aqui representado pelos ônibus, a qual será afixada ao veículo correspondente.
- f) O início efetivo da operação se dá quando os ônibus são liberados pelos despachantes na garagem e deslocam-se para o ponto inicial da linha de ônibus. Esta quilometragem inicial é denominada de quilometragem ociosa, embora muitos operadores usem a denominação de quilometragem morta. É fácil perceber que os operadores sempre desejam reduzir ao máximo esta quilometragem pois não há remuneração deste deslocamento.
- g) Uma vez posicionado no ponto de inicial da linha, o ônibus inicia a operação obedecendo o planejamento de viagens descrito no item (b) deste capítulo.

- h) O ônibus em questão opera as viagens programadas, podendo inclusive mudar de linha, até o momento em que cessem suas viagens.





FONTE: O autor (2018)

Esse modelo de programação, é denominado de programação estática, pois deve seguir o planejamento com base em uma demanda de passageiros pré-fixada por órgãos gestores. Embora o setor de operações faça o monitoramento da operação, variações de demanda para maior ou menor não necessariamente refletem no replanejamento da linha durante um dia em operação, pois este procedimento pode acarretar no replanejamento de várias linhas num efeito cascata. Além disso a operação FRT é menos flexível pois exige um dimensionamento prévio dos recursos que dificulta mudanças de última hora.

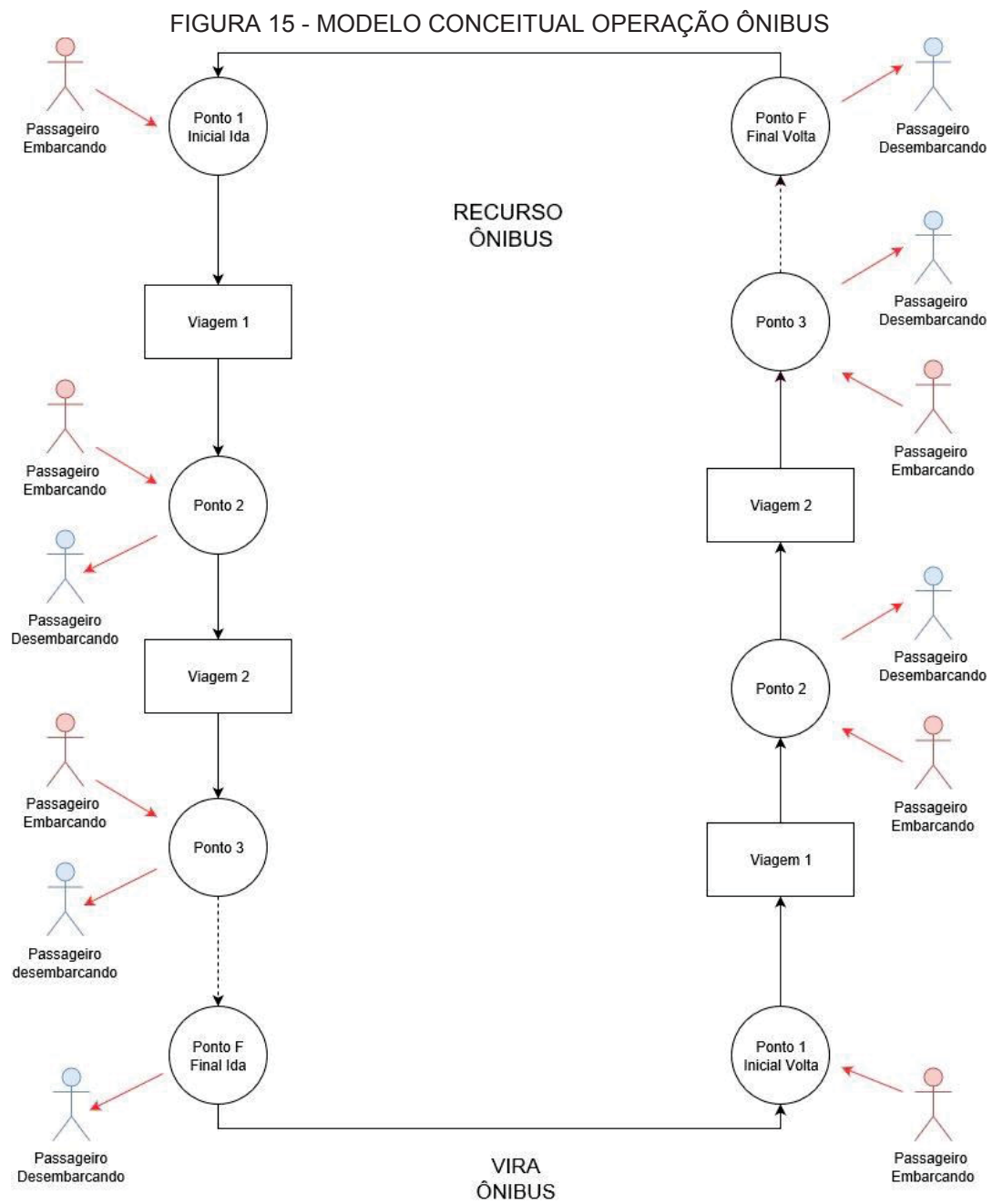
No modelo de simulação aqui descrito, empregando o ACD (*Activity Cycle Diagram*) na elaboração do modelo conceitual da operação da linha de ônibus, foi definido pelo autor que os ‘passageiros’ são as entidades, cujo comportamento operacional é o objeto do estudo, e definido que a ‘veículos’ são recursos.

Entidade	Estado	Símbolo
Passageiro	Viajando	
	Embarcando / Desembarcando	

Recurso	Estado	Símbolo
Ônibus	Viajando entre pontos de parada	
	Desembarcando / Embarcando Passageiros	

- a) Passageiro esperando no ponto “1” de ônibus (Fila);
- b) Passageiro viajando (Atividade);
- c) Passageiro esperando no ponto “2” de ônibus, embarque e desembarque (Fila);
- d) Passageiro viajando (Atividade);

Este ciclo se repete até o ponto final da linha onde todos passageiros desembarcam;





Fonte: O Autor (2019)

3.4 ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO SOB DEMANDA

Ao contrário do planejamento da operação de ônibus, os veículos não possuem uma tabela definida, o planejamento é totalmente responsivo à demanda que é estabelecida pelos passageiros/usuários do sistema. Este modelo de planejamento é denominado planejamento dinâmico e requer um grau de automação bastante superior à programação estática.

No modelo ACD correspondente, o autor seguiu com mesmo princípio o qual os passageiros seguem sendo as entidades e os veículos são os recursos.

Diferentemente do planejamento dos ônibus, o planejamento sob demanda possui recursos com capacidade distinta e deve operar sob padrões operacionais e de qualidade pré-definidos, tais como tempo de deslocamento até o início da viagem e capacidade do veículo.

Entidade	Estado	Símbolo
Passageiro	Viajando	
	Embarcando / Desembarcando	



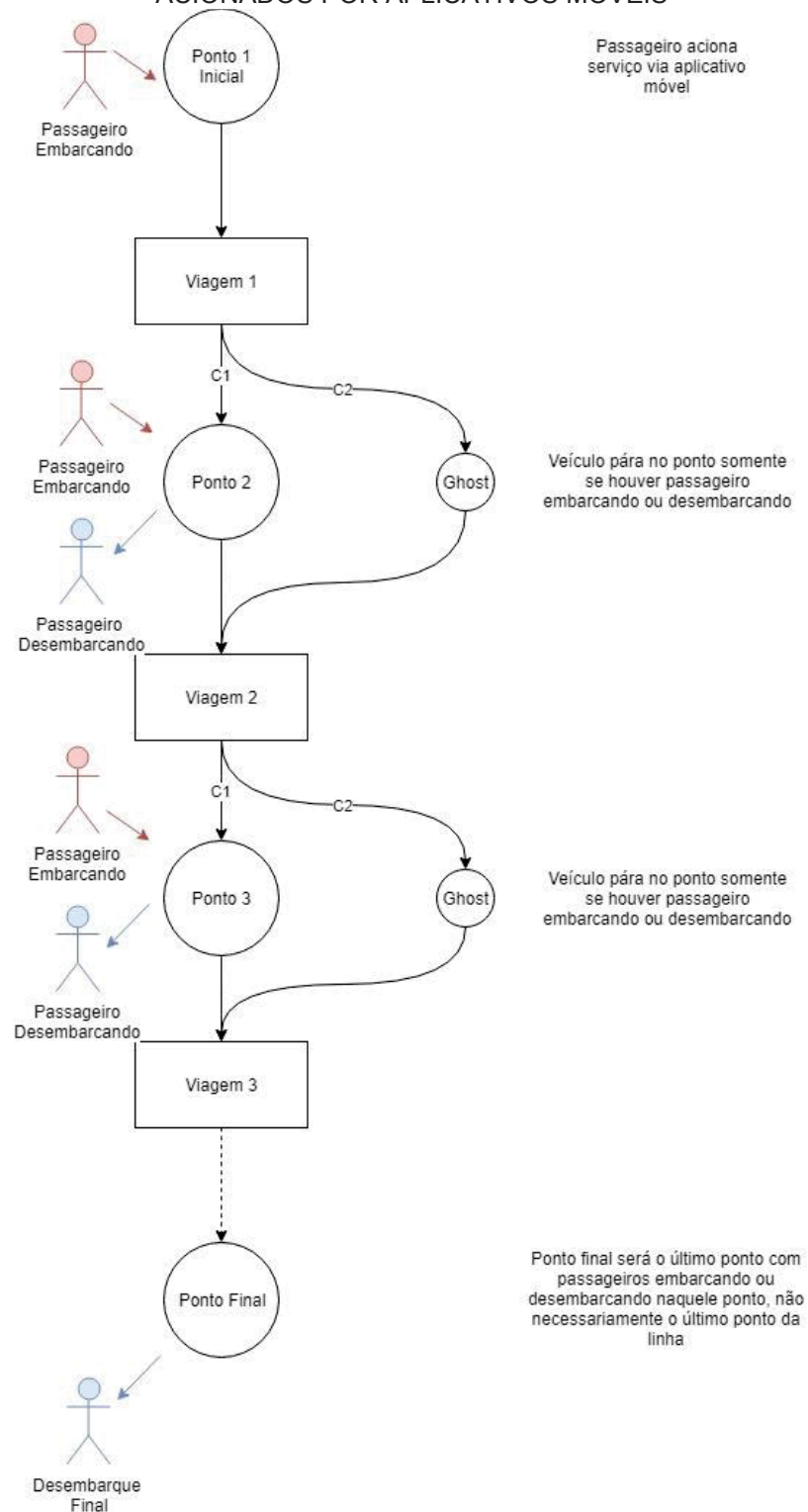
Recurso	Estado	Símbolo
Veículo	Viajando entre pontos de parada	
	Desembarcando / Embarcando Passageiros	

FIGURA 16 - MODELO CONCEITUAL OPERAÇÃO SOB DEMANDA COM VEÍCULOS ACIONADOS POR APLICATIVOS MÓVEIS



Fonte: O Autor (2019)

3.5 MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA

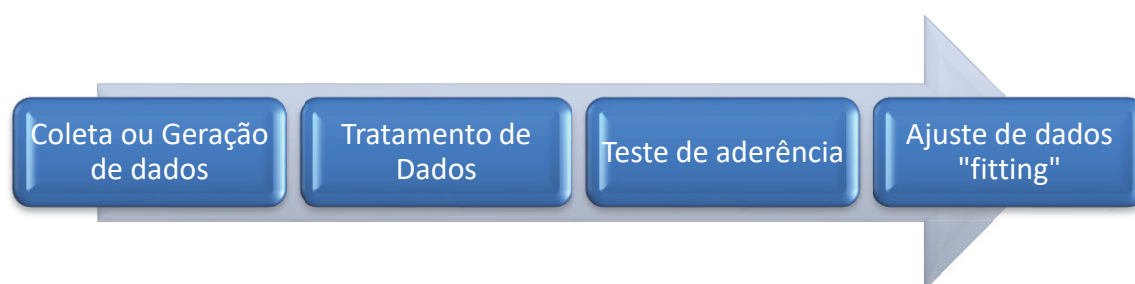
Chamamos de modelos de entrada, os modelos probabilísticos responsáveis por representar a natureza aleatória de um dado fenômeno, e de modelagem de dados, o processo de escolher a melhor representação deste fenômeno CHWIF; MEDINA (2014).

A modelagem de dados é um processo facilitado quando as seguintes condições são válidas NELSON (1998):

- O processo de entrada de dados pode ser representado por uma sequência de variáveis aleatórias independentemente e identicamente distribuída;
- A distribuição de variáveis aleatórias pode ser aproximada por um modelo probabilístico conhecido e encontrado em pacotes comerciais: Normal, Beta, Erlang, Exponencial, Gama, Lognormal, Poisson, Triangular, Uniforme e Weibull, através de testes de aderência;
- Os dados estão disponíveis de modo que seus parâmetros possam ser estimados;

O estudo de modelagem de dados pode ser resumido em quatro etapas:

FIGURA 17 - ETAPAS MODELAGEM DE DADOS



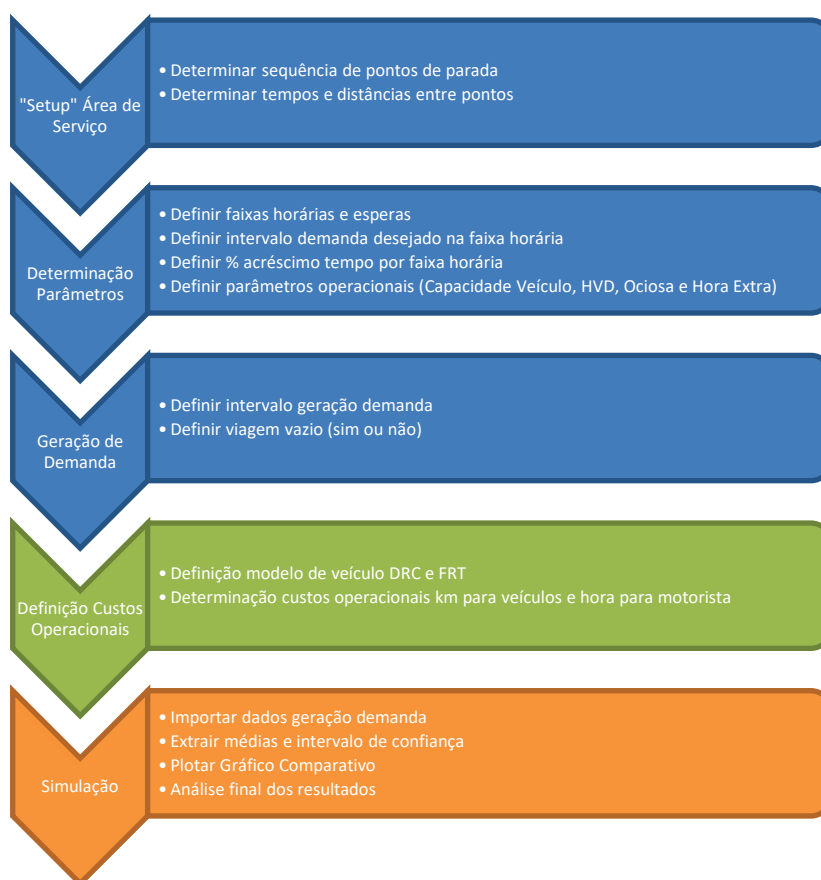
Fonte: (AFONSO MEDINA, 2014b)

Como o objetivo principal deste estudo é a determinação do ponto de inflexão onde o serviço sob demanda DRC é mais atrativo que o serviço com tabela horária fixa FRT, o autor precisa de dados de demanda de passageiros crescentes em uma linha de transportes, por isso a coleta de dados reais foi inviabilizada pois não representariam a variação com a faixa de demanda

necessária para este estudo, desta forma foi definido que a variável aleatória deste modelo de simulação é a demanda de passageiros.

Além do simulador de demanda de passageiros, o autor, também usando programação Excel, criou um modelo de simulação que importa a demanda de passageiros gerada e compara o resultado operacional das operações DRC e FRT. A Figura 18 detalha a sequência de programação do modelo computacional criado:

FIGURA 18 - FLUXOGRAMA TAREFAS PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL



Fonte: o autor (2019)

As etapas assinadas em azul da Figura 18 são parte da geração de demanda de passageiros, enquanto que as etapas assinaladas em verde são as definições de custo e por fim a simulação em laranja.

3.5.1 “SETUP” ÁREA DE SERVIÇO

A área de serviço é determinada pela sequência de pontos de parada da linha, esta sequência deve especificar as distâncias e tempos de deslocamento entre pontos subsequentes:

Além disso, nesta tabela o operador do sistema define os pontos de parada que passageiros podem subir ou descer no veículo DRC.

TABELA 2 - TEMPOS, DISTÂNCIAS, POSSIBILIDADES DE EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS

Sentido ida						Sentido volta					
id	Ponto	Tempo	Extensão	Sobe	Desce	id	Ponto	tempo	Extensão	Sobe	Desce
1	Atuba	00:00	0,000	Sim	Não	1	Pinheiros	00:00	0,000	Sim	Não
2	Graciosa	00:02	1,632	Sim	Sim	2	Imbuías	00:06	3,000	Sim	Sim
3	Nápoles	00:04	2,582	Sim	Sim	3	Bandeira	00:08	4,200	Sim	Sim
4	Iapó	00:07	4,551	Sim	Sim	4	Thomaz	00:10	5,200	Sim	Sim
5	Thomaz	00:08	5,001	Sim	Sim	5	Iapó	00:11	5,800	Sim	Sim
6	Bandeira	00:10	6,301	Sim	Sim	6	Nápoles	00:15	7,000	Sim	Sim
7	Imbuías	00:13	7,801	Sim	Sim	7	Graciosa	00:17	8,000	Sim	Sim
8	Pinheiros	00:18	10,603	Não	Sim	8	Atuba	00:21	10,200	Não	Sim

Fonte: O Autor (2019)

3.5.2 DETERMINAÇÃO PARÂMETROS VIAGENS

A determinação dos parâmetros operacionais segue as seguintes etapas de programação:

1. Determinação das 6 faixas horárias distribuídas durante o dia de operação conforme Tabela 3;
2. Também na Tabela 3, a coluna “Pass.”, estabelece a quantidade máxima de passageiros que poderá ser gerada pelo sistema dentro de cada faixa horária num intervalo determinado, desta forma, se o operador estabelece o valor 3, o sistema irá gerar entre 0 e 3 passageiros por intervalo nesta faixa horária;
3. Na coluna “Espera”, este parâmetro determina o tempo máximo que cada passageiro poderá esperar pelo transporte no seu respectivo ponto de parada;
4. Na coluna “% Tempo” o operador do sistema define o percentual de tempo que será adicionado ao tempo de viagem de acordo com

a faixa horária, este parâmetro pode ser necessário para o caso de regiões onde a velocidade operacional muda de acordo com a faixa horária;

TABELA 3 - DETERMINAÇÃO FAIXAS HORÁRIAS

Passageiro / Intervalo - ida						Passageiro / Intervalo - volta					
id	Pass.	Faixa Horária		Espera	% Tempo	id	Pass.	Faixa Horária		Espera	% Tempo
		Hora Início	Hora Fim					Hora Início	Hora Fim		
1	1	05:00	07:00	00:25	0%	1	1	05:00	07:00	00:25	0%
2	3	07:00	09:00	00:25	20%	2	3	07:00	09:00	00:25	20%
3	2	09:00	16:00	00:25	10%	3	2	09:00	16:00	00:25	10%
4	3	16:00	19:00	00:25	25%	4	3	16:00	19:00	00:25	25%
5	2	19:00	20:00	00:25	10%	5	2	19:00	20:00	00:25	10%
6	1	20:00	24:00	00:25	0%	6	1	20:00	24:00	00:25	0%

Fonte: O Autor (2019)

O segundo passo de parametrização do sistema segue os seguintes passos:

1. Definição da capacidade do veículo DRC;
2. Definição HVD (Hora Veículo Dia), que determina período máximo de operação de um veículo DRC durante um dia de operação;
3. Definir o número de iterações ou simulações de demanda, neste estudo o autor gerou 100 iteração para cada intervalo;

TABELA 4 - DETERMINAÇÃO CAPACIDADE, HVD E ITERAÇÕES

Parâmetros gerais				
id	Descrição	Par 1	Par 2	Observação
1	Capacidade	3		INT/NA
2	HVD	15:00		HOUR/NA
3	interações	100	[1 ATÉ 100]	INT/NA/NA

Fonte: O Autor (2019)

3.5.3 GERAÇÃO DE DEMANDA

A última etapa para geração de demanda de passageiros necessita da definição de dois parâmetros:

1. Definição do intervalo de geração das viagens, neste estudo a demanda de passageiros foi gerada nos seguintes intervalos: 30, 25, 20, 15, 10, 8, 5 e 3 minutos, quanto menor o intervalo, maior a

quantidade de passageiros gerada. Para cada um desses intervalos a demanda seguiu distribuição uniforme;

2. Definição se a operação irá pedir para que veículo DRC volte à base com viagem ociosa ou não;

TABELA 5 - PARÂMETROS VIAGENS

Parâmetros gerais				
id	Descrição	par 1	par 2	Observação
1	Intervalo	x		INT/NA
2	Ociosa ida	não	00:18	TEXT/HOUR
3	Ociosa volta	não	00:21	TEXT/HOUR

Fonte: O Autor (2019)

3.5.4 DEFINIÇÃO CUSTOS OPERACIONAIS

O cálculo dos custos operacionais diretos foi dividido em duas partes:

1. Custo por quilômetro rodado do veículo;
2. Custo de horas da tripulação dedicadas à operação;

Os modelos considerados no estudo possuem as seguintes características:

- Modelo FRT - Micro-ônibus Volare Attack 8 com capacidade até 20 passageiros;
- Modelo DRC₆ - Fiat Dobló Capacidade de 6 passageiros;
- Modelo DRC₃ - Volkswagen Gol Capacidade 3 passageiros;

Todos modelos de veículo operam sem a necessidade de cobrador a bordo, desta forma, apenas as horas do motorista foram consideradas na base de custo de horas da tripulação.

Importante salientar que este estudo visa a comparação dos custos operacionais apenas, assim sendo, quaisquer custos fixos relacionados a manutenção do sistema de transporte, gestão da empresa ou órgão gestor, foram descartados.

3.5.4.1 DEFINIÇÃO CUSTOS OPERACIONAIS OPERAÇÃO DRC

TABELA 6 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO DRC – FIAT DOBLÓ DRC₆

COMPONENTES		EM UNIDADES		VALORES	INDICAÇÃO DE CALCULOS	R\$/KM	%
1	COMBUSTÍVEL	PREÇO	R\$	2,75	PREÇO CONSUMO	0,393	52,7%
		CONSUMO	KM / L	7,0			
2	LUBRIFICANTES	ÓLEO DO MOTOR	LITROS	4,0	(LITROS X R\$/L)/KM	0,012	1,6%
		PERIODICIDADE DA TROCA	KM	10.000			
		PREÇO POR LITRO	R\$/L	30,00			
3	LAVAGENS E GRAXAS	VALOR ESTIMADO MENSAL	R\$	80,00	R\$/KM	0,027	3,6%
		QUILOMETRAGEM MENSAL	KM	3.000			
4	PNEUS DIANTEIRO - 02 TRASEIRO - 04	TIPO 6x17,5	R\$	269,76	TOTAL R\$/DURAÇÃO KM	0,024	3,2%
		DURAÇÃO MÉDIA	KM	45.000			
		VALOR TOTAL	R\$	1.079,04			
5	DEPRECIÇÃO (LINEAR)	II= VR VEICULO (isenção impostos taxista)	R\$	61.140,00	(VL-VR) / N / KM ANUAL	0,136	18,2%
		DEPRECIÇÃO ANUAL 10%	R\$	6.114,00			
		VR = VALOR RESIDUAL NO FIM DO PERÍODO = 20%	R\$	12.228,00			
		N=PRAZOS	ANOS	10			
7	MANUTENÇÃO E REPAROS	CUSTO ANUAL MÉDIO PERÍODO	R\$	3.057,00	R\$/KM ANUAL	0,085	11,4%
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	36.000			
8	IPVA / LICENCIAMENTO E SEGUROS	IPVA 3.5% MÉDIO PERÍODO	R\$	1.027,15	VALOR TOTAL DE SEGUROS	0,069	9,3%
		SEGURO TOTAL ANUAL 5% MÉDIO PERÍODO	R\$	1.467,36	/		
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	36.000	KM ANUAL		
K - CUSTO POR KM RODADO VEÍCULO CAPACIDADE 6 PASSAGEIROS:						0,746	100%

Fonte: O Autor (2019)

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO DRC – VOLKSWAGEN GOL DRC₃

	COMPONENTES	EM UNIDADES	VALORES	INDICAÇÃO DE CALCULOS	R\$/KM	%
1	COMBUSTÍVEL	PREÇO R\$	2,75	PREÇO CONSUMO	0,306	59,9%
		CONSUMO KM / L	9,0			
2	LUBRIFICANTES	ÓLEO DO MOTOR LITROS	4,0	(LITROS X R\$/L)/KM	0,012	2,4%
		PERIODICIDADE DA TROCA KM	10.000			
		PREÇO POR LITRO R\$/L	30,00			
3	LAVAGENS E GRAXAS	VALOR ESTIMADO MENSAL R\$	80,00	R\$/KM	0,027	5,2%
		QUILOMETRAGEM MENSAL KM	3.000			
4	PNEUS DIANTEIRO - 02 TRASEIRO - 04	TIPO 6x17,5 R\$	269,76	TOTAL R\$/DURAÇÃO KM	0,024	4,7%
		DURAÇÃO MÉDIA KM	45.000			
		VALOR TOTAL R\$	1.079,04			
5	DEPRECIÇÃO (LINEAR)	II= VR VEICULO (isenção impostos taxista) R\$	30.000,00	(VL-VR) / N / KM ANUAL	0,067	13,1%
		DEPRECIÇÃO ANUAL 10% R\$	3.000,00			
		VR = VALOR RESIDUAL NO FIM DO PERÍODO = 20% R\$	6.000,00			

Continua →

		N=PRAZOS	ANOS	10			
Z	MANUTENÇÃO E REPAROS	CUSTO ANUAL MÉDIO PERÍODO	R\$	1.500,00	R\$/KM ANUAL	0,042	8,2%
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	36.000			
8	IPVA / LICENCIAMENTO E SEGUROS	IPVA 3.5% MÉDIO PERÍODO	R\$	504,00	VALOR TOTAL DE SEGUROS /	0,034	6,7%
		SEGURO TOTAL ANUAL 5% MÉDIO PERÍODO	R\$	720,00			
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	36.000	KM ANUAL		
	K - CUSTO POR KM RODADO VEÍCULO CAPACIDADE 3 PASSAGEIROS:					0,511	100%

Fonte: O Autor (2019)

O cálculo do custo total C segue a simples fórmula de cálculo:

C : Custo total;

K : Custo quilômetro;

H : Custo hora trabalhada;

K_m : Quilometragem percorrida por viagem;

T_v : tempo por viagem;

P : Pró-labore esperado motorista DRC;

S : Salário motorista FRT;

h : Horas trabalhadas mês de operação;

Equação 1 - CÁLCULO CUSTO OPERACIONAL

$$C = (\sum K_m \times K) + (\sum T_v \times H)$$

O cálculo do custo de horas trabalhadas H foi feito com as seguintes considerações:

Equação 2 - CUSTO HORA MOTORISTA DRC

$$H = \frac{P}{h}$$

Neste Caso específico, o autor definiu os seguintes valores para operação DRC:

P desejado R\$ 3.500,00 por mês;

h equivalente a 175 horas mensais;

H igual a R\$20,00/hora conforme Equação 2;

Definidos estes custos, o cálculo final do custo C da operação DRC será finalizado após a execução do algoritmo que determinará o restante das variáveis T_v e K_m da equação 1.

3.5.4.2 DEFINIÇÃO CUSTOS OPERACIONAIS OPERAÇÃO FRT

TABELA 8 - COMPOSIÇÃO CUSTO QUILOMETRO FRT – VOLARE ATTACK 6

COMPONENTES		EM UNIDADES		VALORES	INDICAÇÃO DE CALCULOS	R\$/KM	%
1	COMBUSTÍVEL	PREÇO	R\$	3,36	PREÇO CONSUMO	0,840	46,6%
		CONSUMO	KM / L	4,0			
2	LUBRIFICANTES	ÓLEO DO MOTOR	LITROS	10,0	(LITROS X R\$/L)/KM	0,030	1,7%
		PERIODICIDADE DA TROCA	KM	10.000			
		PREÇO POR LITRO	R\$/L	30,00			
3	LAVAGENS E GRAXAS	VALOR ESTIMADO MENSAL	R\$	200,00	R\$/KM	0,040	2,2%
		QUILOMETRAGEM MENSAL	KM	5.000			
4	PNEUS DIANTEIRO - 02 TRASEIRO - 04	TIPO 6x17,5	R\$	950,00	TOTAL R\$/DURAÇÃO KM	0,109	6,0%
		DURAÇÃO MÉDIA	KM	35.000			
		VALOR TOTAL	R\$	5.700,00			
5	DEPRECIACÃO (LINEAR)	II= VR VEICULO (2 veículos)	R\$	280.000,00	(VL-VR) / N / KM ANUAL	0,373	20,7%
		DEPRECIACÃO ANUAL 10%	R\$	28.000,00			
		VR = VALOR RESIDUAL NO FIM DO PERÍODO = 20%	R\$	56.000,00			
		N=PRAZOS	ANOS	10			
7	MANUTENÇÃO E REPAROS	CUSTO ANUAL MÉDIO PERÍODO	R\$	18.000,00	R\$/KM ANUAL	0,300	16,6%
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	60.000			
8	IPVA / LICENCIAMENTO E SEGUROS	IPVA 3.5% MÉDIO PERÍODO	R\$	-	VALOR TOTAL DE SEGUROS	0,112	6,2%
		SEGURO TOTAL ANUAL 5% MÉDIO PERÍODO	R\$	6.720,00	/		
		QUILOMETRAGEM ANUAL	KM	60.000	KM ANUAL		
K - CUSTO POR KM RODADO VEÍCULO FRT:						1,804	100%

Fonte: O Autor (2019)

O autor estabeleceu um valor de salário + encargos para o motorista FRT de R\$ 3.500,00. Considerando uma jornada de trabalho de 7h20 por dia ou 183h20 horas por mês de trabalho, obtém-se o valor de R\$ 19,09/hora de trabalho.

O custo da operação FRT é estável e não depende da quantidade de passageiros, logo seu cálculo é dado de forma direta conforme Tabela 9.

TABELA 9 - CÁLCULO CUSTO OPERAÇÃO FRT

	Sentido 1		Sentido 2		Motorista	Custo Viagem		Espera Paga
	Sai Ponto Inicial	Chega Ponto Final	Sai Ponto Inicial	Chega Ponto Final		Veículo	Motorista	
1	05:00	05:18	05:23	05:44	A	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
2	05:30	05:48	05:53	06:14	B	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
3	06:00	06:18	06:23	06:44	A	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
4	06:30	06:48	06:53	07:14	B	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
5	07:00	07:21	07:26	07:51	A	R\$ 26,30	R\$ 14,89	R\$ 4,20
6	07:30	07:51	07:56	08:21	B	R\$ 26,30	R\$ 14,89	R\$ 4,20
7	08:00	08:21	08:26	08:51	A	R\$ 26,30	R\$ 14,89	R\$ 4,20
8	08:30	08:51	08:56	09:21	B	R\$ 26,30	R\$ 14,89	R\$ 4,20
9	09:00	09:21	09:26	09:52	ALMOÇO	R\$ 26,30	R\$ 15,02	R\$ 4,07
10	09:30	09:51	09:56	10:22	ALMOÇO	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
11	10:00	10:21	10:26	10:52	A	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
12	10:30	10:51	10:56	11:22	B	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
13	11:00	11:21	11:26	11:52	A	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
14	11:30	11:51	11:56	12:22	B	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
15	12:00	12:21	12:26	12:52	A	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
16	12:30	12:51	12:56	13:22	B	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
17	13:00	13:21	13:26	13:52	C	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
18	13:30	13:51	13:56	14:22	D	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
19	14:00	14:21	14:26	14:52	C	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
20	14:30	14:51	14:56	15:22	D	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
21	15:00	15:21	15:26	15:52	C	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
22	15:30	15:51	15:56	16:22	D	R\$ 26,30	R\$ 15,14	R\$ 3,95
23	16:00	16:22	16:27	16:53	C	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
24	16:30	16:52	16:57	17:23	D	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
25	17:00	17:22	17:27	17:53	ALMOÇO	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
26	17:30	17:52	17:57	18:23	ALMOÇO	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
27	18:00	18:22	18:27	18:53	C	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
28	18:30	18:52	18:57	19:23	D	R\$ 26,30	R\$ 15,51	R\$ 3,58
29	19:00	19:22	19:27	19:49	C	R\$ 26,30	R\$ 14,18	R\$ 4,92
30	19:30	19:48	19:53	20:15	D	R\$ 26,30	R\$ 13,03	R\$ 6,06
31	20:00	20:18	20:23	20:44	C	R\$ 26,30	R\$ 12,70	R\$ 6,40
32	20:30	20:48	20:53	21:14	D	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
33	21:00	21:18	21:23	21:44	E	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
34	21:30	21:48	21:53	22:14	F	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
35	22:00	22:18	22:23	22:44	E	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
36	22:30	22:48	22:53	23:14	F	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
37	23:00	23:18	23:23	23:44	E	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 6,68
38	23:30	23:48	23:53	00:14	F	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 1,59
39	00:00	00:18	00:23	00:44	E	R\$ 26,30	R\$ 12,41	R\$ 1,59
Total Parcial Total						R\$ 1.025,64	R\$ 553,27	R\$ 181,09
						R\$ 1.760,01 por dia de operação		

Fonte: O Autor (2019)

Precisa-se de no mínimo 6 motoristas para esta operação, sem considerar fins de semana e férias. Logo a necessidade de efetivo profissional diretamente ligado a operação pode ser ainda maior numa operação real.

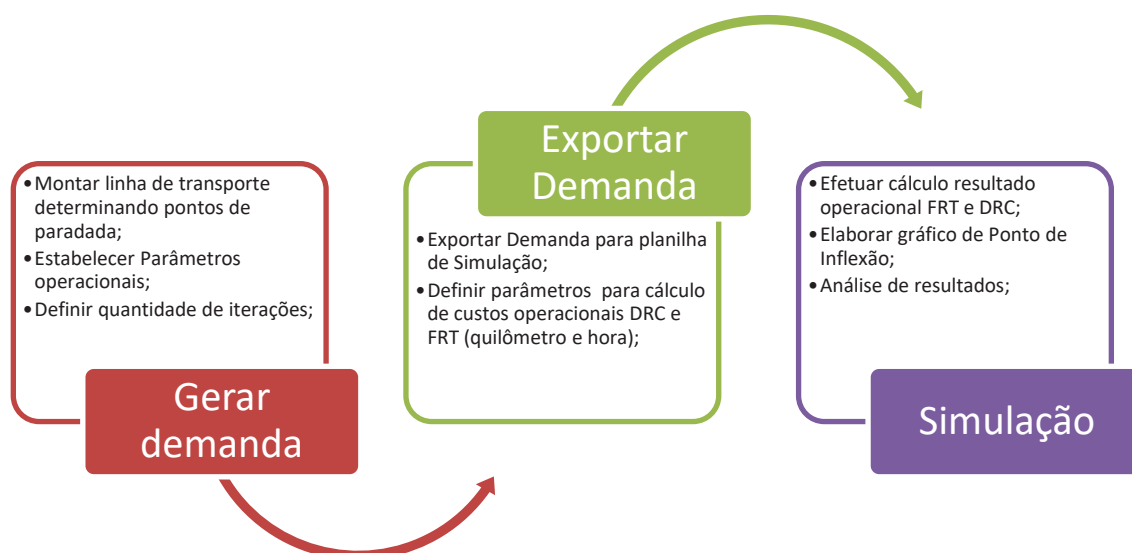
Da mesma forma, nota-se que a operação FRT necessita de no mínimo 2 veículos, não considerando frota reserva para cobrir manutenção preventiva e eventuais quebras.

3.6 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A implementação do modelo computacional tem como referência o modelo conceitual apresentado anteriormente no capítulo 6 deste estudo, figuras

15 e 16 respectivamente. O autor criou um programa de computador que simula demanda de passageiros usando a linguagem de programação VBA. Esta demanda de passageiros é então exportada para uma planilha Excel que calcula o resultado operacional para cada modelo de operação:

FIGURA 19 - FLUXO DE AÇÕES SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL



Fonte: O Autor (2019).

3.7 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A validação do modelo computacional seguiu as etapas de execução do algoritmo e verificação dos resultados obtidos. Esses resultados foram analisados pelo autor para verificar se a curva de demanda se assemelhava as características de uma linha de transporte alimentadora, onde a formação (Pico – Entre-Pico e Pico) pode ser caracterizada.

A Tabela 10 é o resultado da geração de demanda quando o operador do sistema especifica intervalo de geração de demanda de 30 minutos seguindo os parâmetros da Tabela 5 deste estudo. Para cada intervalo, o autor executou o algoritmo de geração de demanda 100 vezes, obtendo assim as médias de demanda para o intervalo, conforme demonstra a Tabela 11.

TABELA 10 - RESULTADO 1 ITERAÇÃO GERAÇÃO DEMANDA – FREQUÊNCIA 30 MINUTOS

Hora chamada	Sent.	Id Origem	Origem	Id Destino	Destino	Desloc.	espera	% tempo	Ini min	Ini máx	viagem	Sai ini	Atend. Ponto	Espera real	chg fim	Veic.
05:30	volta	5	Iapó	7	Graciosa	00:11	00:25	0%	05:19	05:44	19	05:44	05:55	00:25	06:05	1
6:00	ida	3	Nápoles	5	Thomaz	00:04	00:25	0%	05:56	06:21	1	06:21	06:25	00:25	06:39	1
07:00	volta	6	Nápoles	7	Graciosa	00:15	00:25	20%	06:45	07:10	21	07:10	07:25	00:25	07:35	1
07:34	ida	6	Band.	7	Imbuías	00:10	00:25	20%	07:24	07:49	2	07:40	07:50	00:16	08:01	1
07:32	ida	2	Graciosa	7	Imbuías	00:02	00:25	20%	07:30	07:55	2	07:40	07:42	00:10	08:01	1
07:48	ida	5	Thomaz	6	Band.	00:08	00:25	20%	07:40	08:05	2	07:40	07:48	00:00	08:01	1
08:22	volta	6	Nápoles	8	Atuba	00:15	00:25	20%	08:07	08:32	23	08:32	08:47	00:25	08:57	1
08:25	volta	4	Thomaz	7	Graciosa	00:10	00:25	20%	08:15	08:40	23	08:32	08:42	00:17	08:57	1
09:20	ida	2	Graciosa	6	Band.	00:02	00:25	10%	09:18	09:43	4	09:43	09:45	00:25	10:02	1
09:27	ida	5	Thomaz	7	Imbuías	00:08	00:25	10%	09:19	09:44	4	09:43	09:51	00:24	10:02	1
10:25	volta	7	Graciosa	8	Atuba	00:17	00:25	10%	10:08	10:33	25	10:23	10:40	00:15	10:46	1
10:26	volta	5	Iapó	6	Nápoles	00:11	00:25	10%	10:15	10:40	25	10:23	10:34	00:08	10:46	1
10:33	volta	4	Thomaz	7	Graciosa	00:10	00:25	10%	10:23	10:48	25	10:23	10:33	00:00	10:46	1
11:39	ida	1	Atuba	8	Pinheiros	00:00	00:25	10%	11:39	12:04	6	12:04	12:04	00:25	12:23	1
13:09	volta	6	Nápoles	8	Atuba	00:15	00:25	10%	12:54	13:19	28	13:19	13:34	00:25	13:42	1
13:35	volta	7	Graciosa	8	Atuba	00:17	00:25	10%	13:18	13:43	28	13:19	13:36	00:01	13:42	1
13:36	ida	2	Graciosa	5	Thomaz	00:02	00:25	10%	13:34	13:59	8	13:59	14:01	00:25	14:18	1
13:48	ida	2	Graciosa	5	Thomaz	00:02	00:25	10%	13:46	14:11	8	13:59	14:01	00:13	14:18	1
14:35	volta	6	Nápoles	8	Atuba	00:15	00:25	10%	14:20	14:45	29	14:45	15:00	00:25	15:08	1
15:44	ida	5	Thomaz	6	Band.	00:08	00:25	10%	15:36	16:01	10	16:01	16:09	00:25	16:20	1
15:39	ida	2	Graciosa	5	Thomaz	00:02	00:25	10%	15:37	16:02	10	16:01	16:03	00:24	16:20	1
16:18	volta	4	Thomaz	8	Atuba	00:10	00:25	25%	16:08	16:33	31	16:33	16:43	00:25	16:59	1
16:30	volta	3	Band.	5	Iapó	00:08	00:25	25%	16:22	16:47	31	16:33	16:41	00:11	16:59	1
16:56	ida	6	Band.	7	Imbuías	00:10	00:25	25%	16:46	17:11	12	17:11	17:21	00:25	17:33	1
17:32	volta	2	Imbuías	7	Graciosa	00:06	00:25	25%	17:26	17:51	32	17:49	17:55	00:23	18:15	1
17:48	volta	5	Iapó	6	Nápoles	00:11	00:25	25%	17:37	18:02	32	17:49	18:00	00:12	18:15	1
18:04	volta	6	Nápoles	7	Graciosa	00:15	00:25	25%	17:49	18:14	32	17:49	18:04	00:00	18:15	1
18:18	ida	5	Thomaz	7	Imbuías	00:08	00:25	25%	18:10	18:35	14	18:35	18:43	00:25	18:57	1
06:00	volta	2	Imbuías	7	Graciosa	00:06	00:25	0%	05:54	06:19	20	06:19	06:25	00:25	06:40	2
08:22	ida	3	Nápoles	5	Thomaz	00:04	00:25	20%	08:18	08:43	3	08:43	08:47	00:25	09:04	2
09:20	volta	5	Iapó	6	Nápoles	00:11	00:25	10%	09:09	09:34	24	09:34	09:45	00:25	09:57	2
09:23	volta	5	Iapó	8	Atuba	00:11	00:25	10%	09:12	09:37	24	09:34	09:45	00:22	09:57	2
09:45	ida	1	Atuba	8	Pinheiros	00:00	00:25	10%	09:45	10:10	5	10:04	10:04	00:19	10:23	2
09:58	ida	2	Graciosa	6	Band.	00:02	00:25	10%	09:56	10:21	5	10:04	10:06	00:08	10:23	2
10:12	ida	5	Thomaz	6	Band.	00:08	00:25	10%	10:04	10:29	5	10:04	10:12	00:00	10:23	2
11:00	volta	1	Pinheiros	5	Iapó	00:00	00:25	10%	11:00	11:25	26	11:25	11:25	00:25	11:48	2
12:48	ida	1	Atuba	7	Imbuías	00:00	00:25	10%	12:48	13:13	7	13:13	13:13	00:25	13:32	2
15:43	volta	5	Iapó	8	Atuba	00:11	00:25	10%	15:32	15:57	30	15:57	16:08	00:25	16:20	2
16:01	volta	5	Iapó	8	Atuba	00:11	00:25	25%	15:50	16:15	30	15:57	16:08	00:07	16:23	2
16:27	ida	7	Imbuías	8	Pinheiros	00:13	00:25	25%	16:14	16:39	11	16:39	16:52	00:25	17:01	2
16:28	ida	6	Band.	8	Pinheiros	00:10	00:25	25%	16:18	16:43	11	16:39	16:49	00:21	17:01	2
18:22	volta	3	Band.	5	Iapó	00:08	00:25	25%	18:14	18:39	33	18:39	18:47	00:25	19:05	2
07:35	volta	4	Thomaz	5	Iapó	00:10	00:25	20%	07:25	07:50	22	07:50	08:00	00:25	08:15	3
07:43	volta	6	Nápoles	7	Graciosa	00:15	00:25	20%	07:28	07:53	22	07:50	08:05	00:22	08:15	3
14:27	ida	4	Iapó	8	Pinheiros	00:07	00:25	10%	14:20	14:45	9	14:45	14:52	00:25	15:04	3
19:27	volta	5	Iapó	7	Graciosa	00:11	00:25	10%	19:16	19:41	34	19:41	19:52	00:25	20:04	3
20:30	ida	4	Iapó	7	Imbuías	00:07	00:25	0%	20:23	20:48	15	20:48	20:55	00:25	21:06	3
20:45	volta	1	Pinheiros	8	Atuba	00:00	00:25	0%	20:45	21:10	36	21:10	21:10	00:25	21:31	3
11:42	volta	1	Pinheiros	8	Atuba	00:00	00:25	10%	11:42	12:07	27	12:07	12:07	00:25	12:30	4
11:54	volta	1	Pinheiros	7	Graciosa	00:00	00:25	10%	11:54	12:19	27	12:07	12:07	00:13	12:30	4
17:16	ida	2	Graciosa	8	Pinheiros	00:02	00:25	25%	17:14	17:39	13	17:39	17:41	00:25	18:01	4
17:24	ida	5	Thomaz	7	Imbuías	00:08	00:25	25%	17:16	17:41	13	17:39	17:47	00:23	18:01	4
20:20	volta	2	Imbuías	6	Nápoles	00:06	00:25	0%	20:14	20:39	35	20:39	20:45	00:25	21:00	4
21:26	ida	5	Thomaz	8	Pinheiros	00:08	00:25	0%	21:18	21:43	16	21:43	21:51	00:25	22:01	4
21:38	ida	6	Band.	7	Imbuías	00:10	00:25	0%	21:28	21:53	16	21:43	21:53	00:15	22:01	4
21:28	volta	2	Imbuías	6	Nápoles	00:06	00:25	0%	21:22	21:47	37	21:47	21:53	00:25	22:08	5
21:42	volta	5	Iapó	6	Nápoles	00:11	00:25	0%	21:31	21:56	37	21:47	21:58	00:16	22:08	5
22:22	ida	7	Imbuías	8	Pinheiros	00:13	00:25	0%	22:09	22:34	17	22:34	22:47	00:25	22:52	5
23:00	ida	2	Graciosa	6	Band.	00:02	00:25	0%	22:58	23:23	18	23:23	23:25	00:25	23:41	6

Fonte: O Autor (2019)

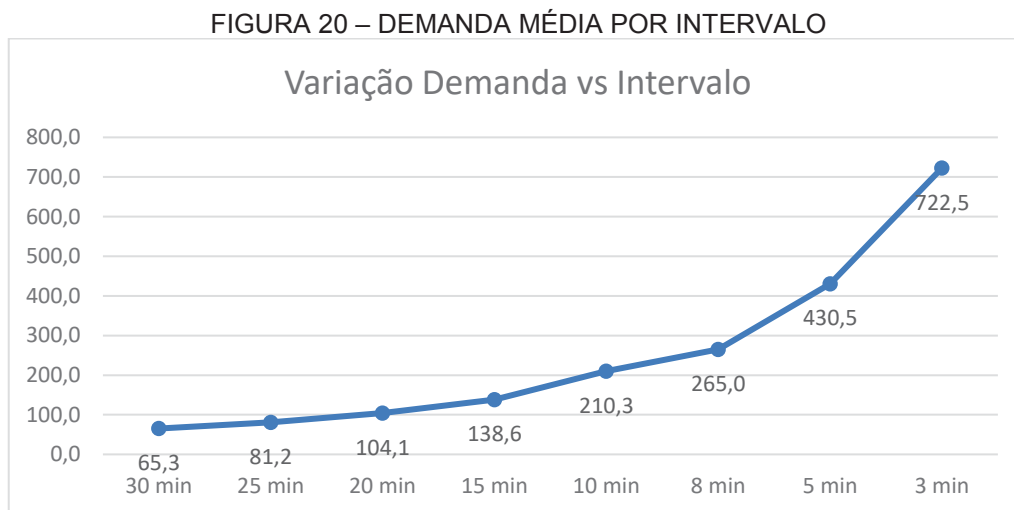
TABELA 11 - RESUMO 100 ITERAÇÕES GERAÇÃO DEMANDA – FREQUÊNCIA 30 MINUTOS

Medições	Demanda Pass.	Viagens	Vazio	km produtiva	km Vazio	nº Veiculo	Hora Prod.	Hora Vazio	Hora Disp.	Cap. Veiculo	Intervalo	HVD	Vazio ida	vazio volta	esp. prg	esp. real
result (1)	59	37	0	384,654	0,000	6	13:18	00:00	50:57	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (2)	57	36	0	374,454	0,000	6	12:55	00:00	58:48	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (3)	60	44	0	457,263	0,000	8	15:46	00:00	85:14	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (4)	77	47	0	488,669	0,000	6	16:54	00:00	47:41	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (5)	57	35	0	365,463	0,000	8	12:21	00:00	36:29	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (6)	65	39	0	404,651	0,000	8	14:13	00:00	45:46	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (7)	72	44	0	458,069	0,000	6	15:43	00:00	46:30	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (8)	61	39	0	405,457	0,000	6	14:04	00:00	56:50	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (9)	58	38	0	396,063	0,000	8	13:33	00:00	47:27	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (10)	63	40	0	415,657	0,000	7	14:22	00:00	54:09	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (11)	51	37	0	383,445	0,000	12	13:27	00:00	63:02	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (12)	66	43	0	447,063	0,000	5	15:24	00:00	52:16	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (13)	73	43	0	447,466	0,000	7	15:23	00:00	67:22	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (14)	65	45	0	466,657	0,000	8	16:17	00:00	42:10	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (15)	76	46	0	478,872	0,000	7	16:27	00:00	48:42	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (16)	72	40	0	416,060	0,000	7	14:26	00:00	54:32	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (17)	55	36	0	373,245	0,000	9	13:00	00:00	39:08	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (18)	71	44	0	457,666	0,000	5	15:49	00:00	55:22	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (19)	52	37	0	385,460	0,000	10	13:11	00:00	56:54	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (20)	62	36	0	374,454	0,000	5	12:53	00:00	43:09	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (21)	67	41	0	425,857	0,000	7	14:46	00:00	54:19	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (22)	74	43	0	447,869	0,000	8	15:25	00:00	65:54	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (23)	54	33	0	343,048	0,000	5	11:58	00:00	51:35	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (24)	69	42	0	436,460	0,000	7	15:07	00:00	57:48	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (25)	63	40	0	414,851	0,000	10	14:34	00:00	50:20	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (26)	57	37	0	383,848	0,000	8	13:26	00:00	40:44	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (27)	68	43	0	446,660	0,000	7	15:32	00:00	55:41	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (28)	66	41	0	426,663	0,000	7	14:36	00:00	76:14	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (29)	75	47	0	488,669	0,000	7	16:52	00:00	69:34	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (30)	66	44	0	457,666	0,000	10	15:45	00:00	68:56	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (31)	63	45	0	468,269	0,000	7	15:58	00:00	58:05	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (32)	72	46	0	478,469	0,000	6	16:33	00:00	54:53	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (33)	57	42	0	436,863	0,000	7	15:07	00:00	71:07	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (34)	63	43	0	448,272	0,000	9	15:01	00:00	64:48	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (35)	53	35	0	364,657	0,000	6	12:19	00:00	43:33	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (36)	75	44	0	457,263	0,000	7	15:50	00:00	52:20	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (37)	74	47	0	487,863	0,000	9	16:59	00:00	71:41	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (38)	73	43	0	447,063	0,000	5	15:28	00:00	46:32	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (39)	54	37	0	385,863	0,000	7	13:04	00:00	45:43	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (40)	61	42	0	437,266	0,000	7	14:59	00:00	61:14	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (41)	74	43	0	447,869	0,000	6	15:22	00:00	52:08	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (42)	73	44	0	457,263	0,000	7	15:51	00:00	56:28	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (43)	68	42	0	436,863	0,000	4	15:07	00:00	49:22	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (44)	60	38	0	396,063	0,000	8	13:29	00:00	53:04	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (45)	69	42	0	437,669	0,000	9	14:53	00:00	56:38	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (46)	77	43	0	447,063	0,000	5	15:35	00:00	55:19	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (47)	69	43	0	447,466	0,000	4	15:26	00:00	51:40	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (48)	70	47	0	489,475	0,000	6	16:37	00:00	60:19	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (49)	58	37	0	384,654	0,000	6	13:06	00:00	54:36	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (50)	76	44	0	458,069	0,000	6	15:44	00:00	53:53	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (51)	61	37	0	384,654	0,000	6	13:24	00:00	47:54	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (52)	61	40	0	415,254	0,000	7	14:19	00:00	76:38	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (53)	62	38	0	394,451	0,000	8	13:56	00:00	38:47	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (54)	61	40	0	415,657	0,000	8	14:16	00:00	49:52	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (55)	68	41	0	426,260	0,000	6	14:56	00:00	55:57	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (56)	69	41	0	426,663	0,000	6	14:43	00:00	51:06	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (57)	67	46	0	478,469	0,000	6	16:25	00:00	46:24	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (58)	74	46	0	478,469	0,000	7	16:23	00:00	63:27	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (59)	59	42	0	436,863	0,000	4	15:05	00:00	47:30	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (60)	52	35	0	364,254	0,000	5	12:30	00:00	51:45	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (61)	66	44	0	457,666	0,000	5	15:42	00:00	47:36	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (62)	60	40	0	415,254	0,000	8	14:23	00:00	47:15	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (63)	72	44	0	457,666	0,000	5	15:42	00:00	48:44	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (64)	68	41	0	426,663	0,000	7	14:34	00:00	66:41	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (65)	64	44	0	458,472	0,000	7	15:35	00:00	51:48	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (66)	62	44	0	458,069	0,000	7	15:42	00:00	61:40	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (67)	74	41	0	426,260	0,000	5	14:47	00:00	52:59	3	30	14:00	não	não	00:25	00:16
result (68)	67	45	0	467,866	0,000	6	16:06	00:00	55:26	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (69)	78	43	0	447,063	0,000	6	15:33	00:00	60:38	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (70)	66	41	0	426,260	0,000	7	14:40	00:00	66:07	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (71)	62	40	0	414,851	0,000	9	14:26	00:00	54:02	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (72)	66	44	0	457,666	0,000	6	15:39	00:00	54:18	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (73)	74	45	0	468,269	0,000	5	16:05	00:00	48:34	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (74)	65	37	0	383,042	0,000	11	13:32	00:00	37:17	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17

result (75)	56	36	0	374,051	0,000	8	13:08	00:00	61:49	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (76)	69	40	0	416,060	0,000	4	14:33	00:00	45:11	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (77)	65	39	0	405,457	0,000	7	14:08	00:00	57:27	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (78)	49	36	0	374,454	0,000	5	12:54	00:00	44:29	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (79)	65	37	0	385,057	0,000	5	13:29	00:00	47:59	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (80)	60	40	0	416,463	0,000	5	14:20	00:00	45:13	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (81)	64	42	0	438,072	0,000	11	14:49	00:00	48:40	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (82)	65	44	0	457,263	0,000	8	15:45	00:00	62:24	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (83)	60	40	0	414,851	0,000	9	14:29	00:00	60:10	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (84)	65	44	0	457,666	0,000	6	15:40	00:00	51:21	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (85)	67	45	0	468,269	0,000	5	16:08	00:00	51:59	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (86)	63	42	0	436,863	0,000	7	14:58	00:00	70:05	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (87)	62	44	0	457,263	0,000	7	15:46	00:00	55:04	3	30	14:00	não	não	00:25	00:20
result (88)	51	36	0	373,648	0,000	7	12:59	00:00	59:29	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (89)	69	46	0	478,469	0,000	5	16:29	00:00	55:53	3	30	14:00	não	não	00:25	00:21
result (90)	65	41	0	426,663	0,000	7	14:36	00:00	63:01	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (91)	62	40	0	415,657	0,000	7	14:23	00:00	49:15	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (92)	69	44	0	456,457	0,000	9	15:41	00:00	62:58	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (93)	59	37	0	385,863	0,000	9	13:03	00:00	52:27	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (94)	61	40	0	415,657	0,000	6	14:17	00:00	52:43	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (95)	65	38	0	394,048	0,000	9	13:57	00:00	43:23	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (96)	57	38	0	394,854	0,000	7	13:40	00:00	58:11	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (97)	64	39	0	405,054	0,000	6	14:08	00:00	54:37	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19
result (98)	64	39	0	405,054	0,000	5	14:15	00:00	59:00	3	30	14:00	não	não	00:25	00:17
result (99)	64	41	0	426,260	0,000	7	14:42	00:00	59:15	3	30	14:00	não	não	00:25	00:18
result (100)	63	40	0	416,866	0,000	9	14:10	00:00	62:14	3	30	14:00	não	não	00:25	00:19

Fonte: O Autor (2019)

O mesmo procedimento foi efetuado para os intervalos de 30, 25, 20, 15, 10, 8, 5 e 3 minutos, resultando em demandas crescentes conforme demonstra a Figura 20.



Fonte: O Autor (2019)

4 REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a validação do modelo computacional, realizou-se experimentos com a finalidade de investigar as hipóteses definidas nos objetivos desse estudo, que são:

1. Avaliar o impacto nos custos e na rentabilidade da operação de uma linha de ônibus urbano ou metropolitano, quando há a substituição de um serviço regular de transporte operado por ônibus com tabela horária fixa, por um serviço sob demanda operado por veículos com menor capacidade de passageiros;
2. Medir a eficiência deste novo modelo com base no tempo de espera do passageiro comparando-o ao tempo de espera do mesmo passageiro numa operação regular de ônibus com intervalo entre viagens pré-definido;
3. Estimar o ponto de equilíbrio financeiro das diversas operações simuladas;

4.1 CENÁRIO 1: DRC CAPACIDADE 6 PASSAGEIROS

TABELA 12 - RESULTADO OPERACIONAL POR MODAL E COMPARAÇÃO DRC₆ CAPACIDADE 6 PASSAGEIROS vs FRT

Intervalo	Média Passageiros Dia	Intervalo Confiança das Médias de Passageiros	Resultado Operacional				Ganho ou Perda DRC vs FRT	Intervalo de confiança dos Ganhos	Espera Média DRC
			Resultado DRC	Intervalo Confiança das Médias - DRC	Resultado FRT	Intervalo de confiança das Médias FRT			
30 min	65,3	1,7	-R\$ 314,52	R\$ 9,79	-R\$ 1.427,57	R\$ 7,72	R\$ 1.113,05	R\$ 14,47	00:20
25 min	81,2	2,3	-R\$ 320,26	R\$ 8,95	-R\$ 1.355,93	R\$ 10,26	R\$ 1.035,67	R\$ 15,42	00:19
20 min	104,1	2,6	-R\$ 309,39	R\$ 10,93	-R\$ 1.252,93	R\$ 11,48	R\$ 943,54	R\$ 15,40	00:18
15 min	138,6	3,6	-R\$ 234,73	R\$ 9,74	-R\$ 1.097,77	R\$ 16,27	R\$ 863,04	R\$ 14,80	00:17
10 min	210,3	5,6	-R\$ 41,12	R\$ 18,23	-R\$ 774,85	R\$ 25,27	R\$ 733,73	R\$ 14,49	00:15
8 min	265,0	6,5	R\$ 122,29	R\$ 21,98	-R\$ 528,79	R\$ 29,41	R\$ 651,08	R\$ 12,01	00:14
5 min	430,5	10,0	R\$ 609,42	R\$ 28,39	R\$ 216,14	R\$ 45,15	R\$ 393,27	R\$ 18,56	00:11
3 min	722,5	13,9	R\$ 1.330,68	R\$ 31,56	R\$ 1.530,01	R\$ 62,63	-R\$ 199,33	R\$ 31,77	00:07

Fonte: O Autor (2019)

Análise Objetivo 1 - Observando as colunas dos resultados operacionais das operações DRC₆ (*Demand Responsive Connector 6*)

passengers capacity) e FRT, embora o modelo de operação DRC_6 não estabeleça um superávit operacional imediato para faixas de demanda inferiores a 220 passageiros, podemos concluir que estes apresentam ganho econômico significativo até uma faixa de demanda de 700 passageiros dia, desta forma conforme relatório (“NTU”, 2018) quando integramos essa linha a uma rede de transporte que pratica o subsídio cruzado, a rede de transporte poderá se beneficiar bastante, pois haverá uma diminuição significativa do déficit operacional destas linhas de baixa demanda, mesmo quando estas permaneçam deficitárias. Além disso, observamos neste exemplo que o operador poderá reverter o déficit de linhas com faixas de demanda entre 220 e 700 passageiros., tornando-as superavitárias.

Análise Objetivo 2 - A coluna “Espera Média DRC_6 ” apresenta resultados do tempo médio que o passageiro espera após acionamento do serviço, não necessariamente significa que o passageiro esteja no ponto de embarque neste instante. De qualquer forma, este é o valor que será usado na comparação com modelo FRT.

O modelo FRT tem frequência constante de 30 minutos de intervalo entre as viagens durante todo dia de operação. Desta forma, é razoável considerar que a espera média dos passageiros por este tipo de serviço será o tempo médio do intervalo, ou seja, 15 minutos.

O modelo DRC_6 tem as médias dos tempos de espera representado na Figura 22 e mostra que este é decrescente quanto maior a quantidade de passageiros. de acordo com as análises, o tempo médio de espera do DRC_6 será menor que o FRT quando a demanda for superior a 265 passageiros por dia.

Análise Objetivo 3 – Pontos de equilíbrio financeiro das operações, são determinados pelo gráfico da Figura 24, onde podemos notar 3 pontos de equilíbrio:

Ponto 1: demanda mínima para superávit comercial DRC_6 = 220 passageiros;

Ponto 2: demanda mínima para superávit comercial FRT = 400 passageiros;

Ponto 3: demanda mínima para que FRT tenha superávit maior que DRC_6 é de 700 passageiros;

FIGURA 21- COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 6 LUGARES E FRT

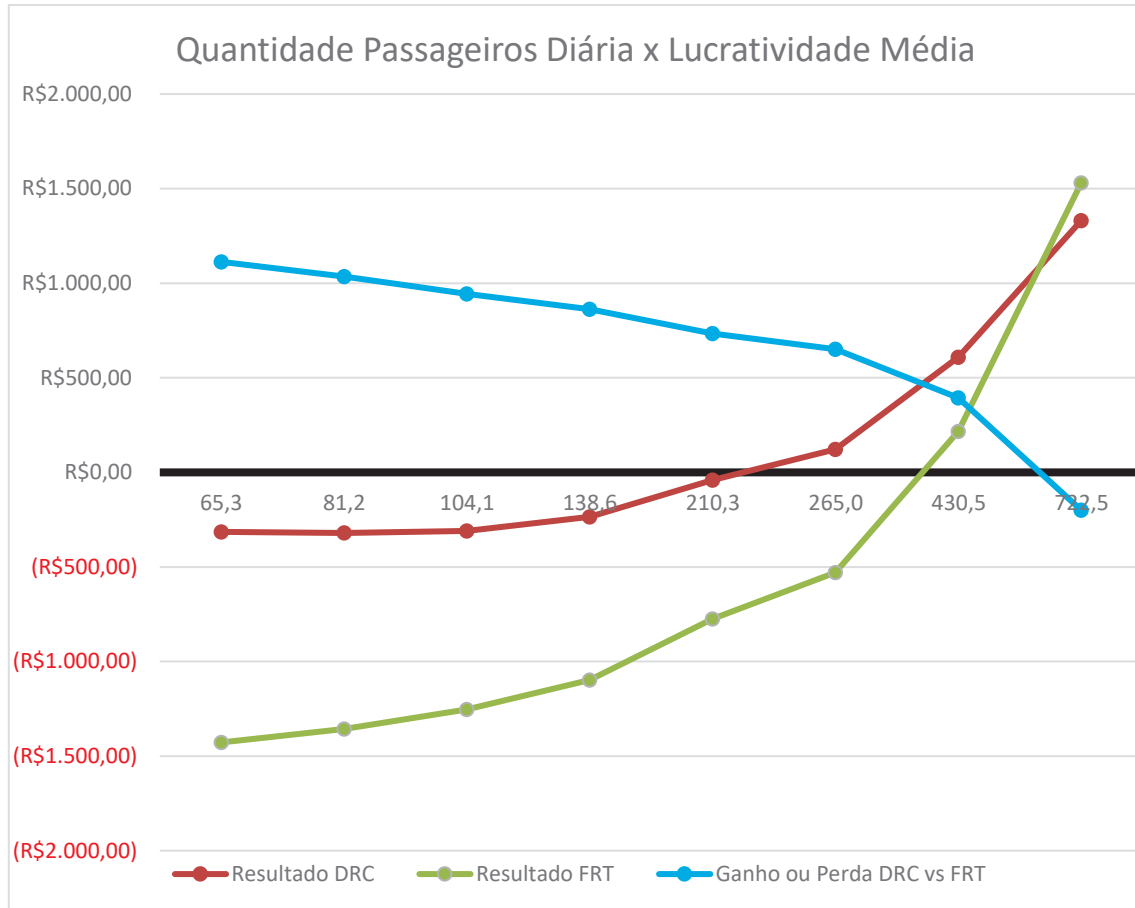
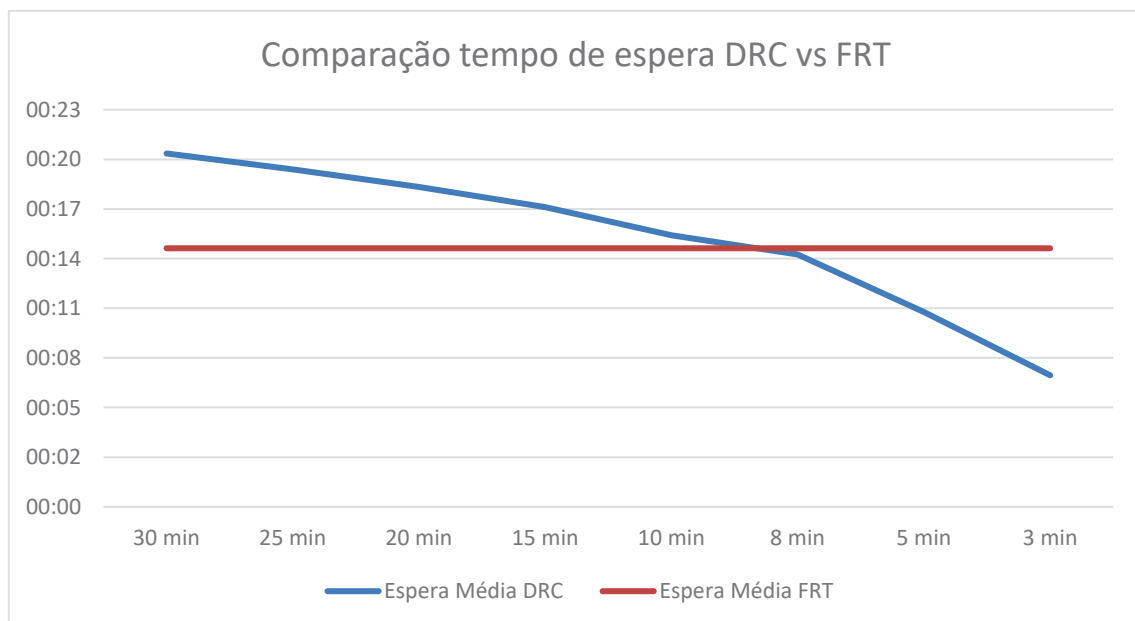


FIGURA 22 - COMPARATIVO TEMPO DE ESPERA DRC 6 LUGARES E FRT



4.2 CENÁRIO 2: DRC CAPACIDADE 3 PASSAGEIROS:

TABELA 13 - RESULTADO OPERACIONAL POR MODAL E COMPARAÇÃO DRC CAPACIDADE 3 PASSAGEIROS vs FRT

Resultado Operacional									
Intervalo	Média Passageiros Dia	Intervalo Confiança das Médias de Passageiros	Resultado DRC	Intervalo Confiança das Médias - DRC	Resultado FRT	Intervalo de confiança das Médias FRT	Ganho ou Perda DRC vs FRT	Intervalo de confiança dos Ganhos	Espera Média DRC
30 min	64,1	1,9	-R\$ 216,17	R\$ 6,79	-R\$ 1.471,69	R\$ 8,38	R\$ 1.255,52	R\$ 12,29	00:18
25 min	81,2	2,2	-R\$ 206,78	R\$ 7,52	-R\$ 1.394,70	R\$ 10,00	R\$ 1.187,92	R\$ 11,54	00:17
20 min	105,3	2,7	-R\$ 177,33	R\$ 9,91	-R\$ 1.286,25	R\$ 12,25	R\$ 1.108,91	R\$ 13,30	00:15
15 min	139,9	3,4	-R\$ 92,83	R\$ 10,66	-R\$ 1.130,50	R\$ 15,45	R\$ 1.037,68	R\$ 10,95	00:12
10 min	213,6	5,5	R\$ 128,45	R\$ 17,43	-R\$ 798,67	R\$ 24,96	R\$ 927,13	R\$ 12,80	00:09
8 min	267,2	7,1	R\$ 309,74	R\$ 23,56	-R\$ 557,43	R\$ 32,01	R\$ 867,17	R\$ 11,36	00:08
5 min	428,9	11,4	R\$ 820,23	R\$ 36,15	R\$ 170,18	R\$ 51,23	R\$ 650,05	R\$ 16,44	00:05
3 min	723,1	17,8	R\$ 1.647,64	R\$ 46,67	R\$ 1.493,72	R\$ 80,04	R\$ 153,92	R\$ 33,98	00:03
2 min	1086,3	17,4	R\$ 2.570,89	R\$ 42,69	R\$ 3.128,43	R\$ 78,29	-R\$ 557,55	R\$ 35,76	00:02

Fonte: O Autor (2019)

Análise Objetivo 1 - Observando as colunas dos resultados operacionais das operações DRC₃ (*Demand Responsive Connector 3 passengers capacity*) e FRT, embora o modelo de operação DRC₃ não estabeleça um superávit operacional imediato para faixas de demanda inferiores a 150 passageiros, podemos concluir que estes apresentam ganho econômico significativo até uma faixa de demanda de 700 passageiros dia, desta forma conforme relatório (“NTU”, 2018) quando integramos essa linha a uma rede de transporte que pratica o subsídio cruzado, o sistema como um todo poderá se beneficiar bastante, pois haverá uma diminuição significativa do déficit operacional destas linhas de baixa demanda, mesmo quando estas permaneçam deficitárias. Além disso, observamos neste exemplo que o operador poderá reverter o déficit de linhas com faixas de demanda entre 150 e 750 passageiros., tornando-as superavitárias.

Análise Objetivo 2 - A coluna “Espera Média DRC₃” apresenta resultados do tempo médio que o passageiro espera após acionamento do serviço, não necessariamente significa que o passageiro esteja no ponto de embarque neste instante. De qualquer forma, este é o valor que será usado na comparação com modelo FRT.

O modelo FRT tem frequência constante de 30 minutos de intervalo entre as viagens durante todo dia de operação. Desta forma, é razoável considerar que a espera média dos passageiros por este tipo de serviço será o tempo médio do intervalo, ou seja, 15 minutos.

O modelo DRC₃, tem as médias dos tempos de espera representado na Figura 24 e tal como o modelo DRC₆, apresenta média de tempo de espera decrescente quanto maior a quantidade de passageiros, porém neste cenário o tempo de espera do DRC₃ será menor que o FRT a partir de demandas superiores a 110 passageiros por dia.

Análise Objetivo 3 – Pontos de equilíbrio financeiro das operações, são determinados pelo gráfico da figura 24, onde podemos notar 3 pontos de equilíbrio:

Ponto 1: demanda mínima para superávit comercial DRC₆ = 150 passageiros;

Ponto 2: demanda mínima para superávit comercial FRT = 400 passageiros;

Ponto 3: demanda mínima para que FRT tenha superávit maior que DRC₆ é de 750 passageiros;

FIGURA 23 - COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 3 LUGARES E FRT

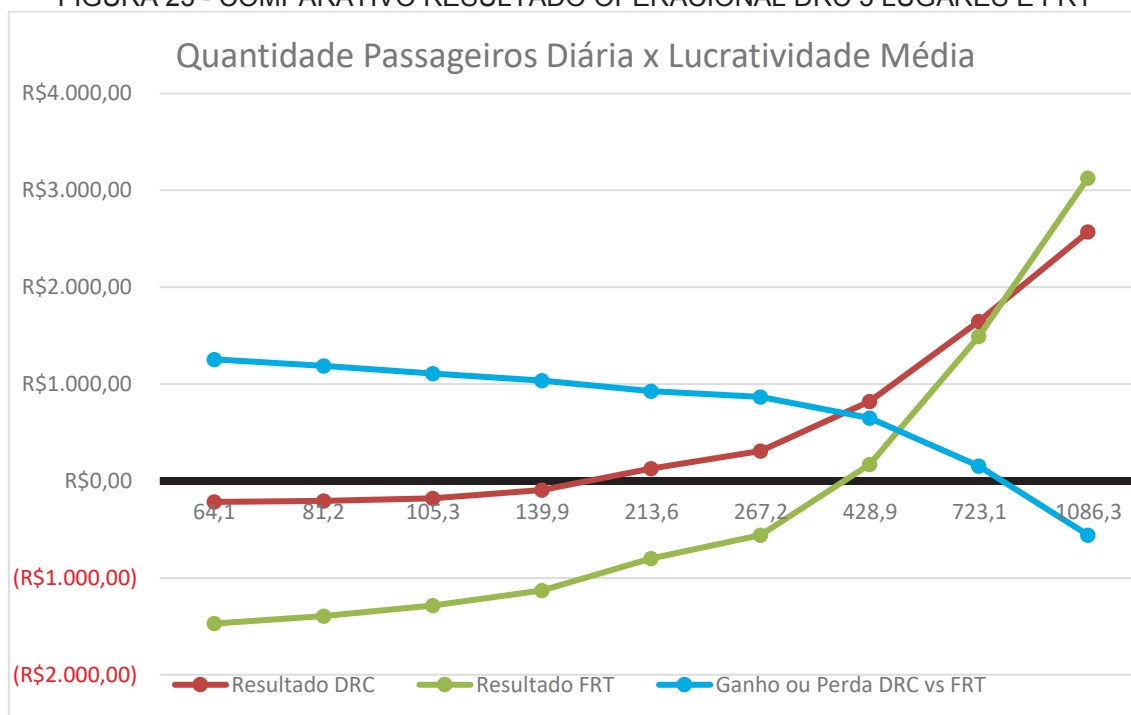
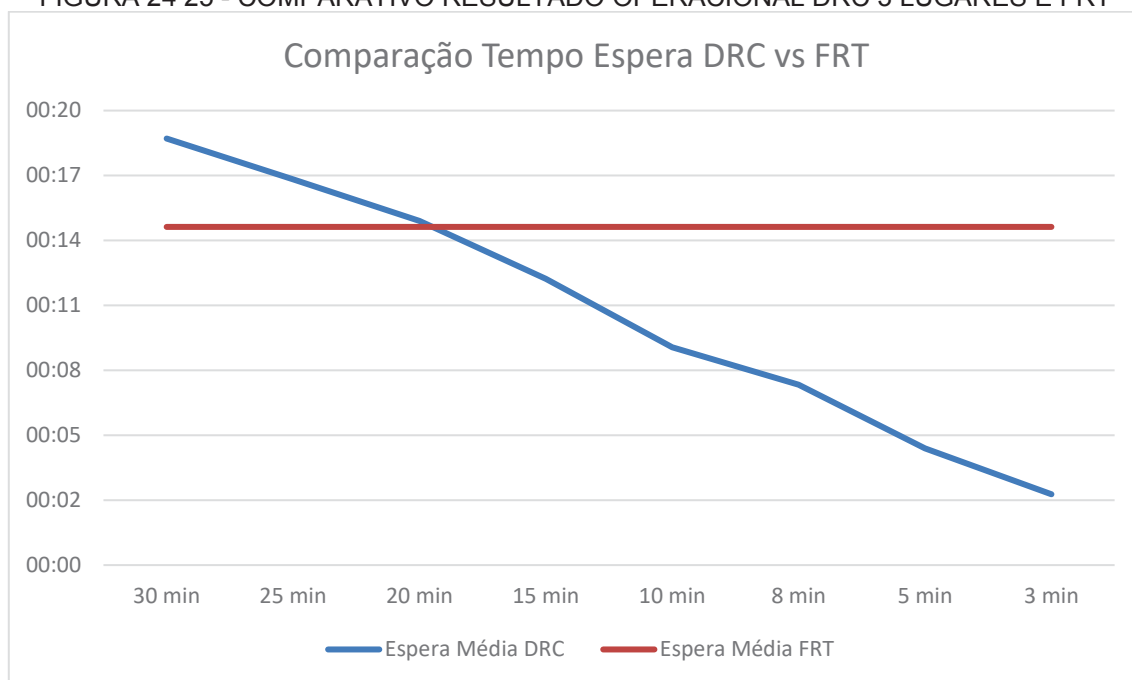


FIGURA 24 25 - COMPARATIVO RESULTADO OPERACIONAL DRC 3 LUGARES E FRT



Fonte: O Autor (2019).

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desequilíbrio econômico das redes de transporte urbano de passageiros no Brasil, que tem como uma de suas principais causas, a significativa redução da demanda passageiros nos sistemas de transporte, precisa ser resgatado de uma grande recessão, pois é de fundamental importância para qualidade de vida e bem-estar da população das cidades Brasileiras. É importante que todos agentes envolvidos (público, privado e comunidade científica) busquem alternativas de custeio e melhoria da qualidade do serviço de transporte para que este setor melhore e desempenhe seu relevante papel no desenvolvimento urbano e social.

A chegada de novas tecnologia trouxe possibilidades que anteriormente não eram acessíveis aos operadores de transporte. A introdução destas tecnologias deve ser estudada e eventualmente testada para que esses novos modelos possam, num futuro próximo, ser parte do cotidiano da população urbana no Brasil. A metodologia de simulação de eventos discretos empregada neste estudo, permitiu a clara visualização de que a introdução de um novo conceito de transporte de passageiros, tem um grande potencial de sucesso.

Além dos objetivos testados no capítulo 7 deste estudo, outros elementos da operação poderiam ser analisados e podem ser objeto de trabalhos futuros, dentre os quais cito:

- A investigação da possibilidade do aumento do número de passageiros transportados quando há a introdução de rede MTS, pois espera-se que a previsibilidade de uma rede de transporte integrada atraia mais passageiros para o sistema de transporte coletivo em detrimento do transporte individual;
- Redução do tempo de permanência no ponto de parada, pois os passageiros irão ao ponto de parada somente após receber resposta com definição do horário em que o veículo irá passar naquele ponto específico.
- Redução do tempo total de viagem, pois os veículos não precisarão parar em todos pontos ao longo da linha, possibilitando aos operadores “cortar caminho” não necessariamente seguindo a sequência dos pontos de parada;
- Redução da emissão de CO₂, pois veículos DRC poderão cortar caminho, não precisarão rodar vazios para cumprir o planejamento de uma tabela horária pré-estabelecida e o modelo DRC utiliza modelos menos poluentes que a operação FRT;
- Aumento da utilização da capacidade instalada e redução do tempo ocioso dos ativos das operadoras de transporte, pois os ônibus comprados pelos operadores serão concentrados em linhas de alta demanda com frequência mais constante durante todo período do dia.
- Estudo da redução do CAPEX das empresas de transporte, pois estas demandarão menos ônibus para operação do sistema de transporte;
- Estudo da redução do OPEX das operadoras de transporte devido a menor necessidade de motoristas e pessoal ligado a operação dos ônibus;
- Desenvolvimento de novas tecnologias para atender uma nova forma de mobilidade urbana integrada de conceito *MaaS*;
- Integração de outros modais na rede de transporte público;

Por fim, conclui-se que a metodologia de modelagem e simulação empregada no presente trabalho de pesquisa permitiu desenvolver um modelo confiável e com suficiente flexibilidade para ser adaptado à diferentes perfis operacionais, inclusive, para emprego em outras linhas de transporte de passageiros. Destaca-se também que a simulação empregando o modelo de Monte Carlo mostrou-se uma ferramenta viável, de fácil manuseio e capaz de fornecer indicadores de desempenho que identificam os índices operacionais necessários para análise da eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

99. Disponível em: <<https://99app.com/sobre-a-99/>>. Acesso em: 9 fev. 2019.

CHWIF; MEDINA (2014). **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. São Paulo: Elsevier, 2014a.

BASTOS, F. Z. L.; SCARPIN, C. T.; PÉCORA JUNIOR, J. E. Publicação IJIE. 2019.

BIELLI, M. Object modeling and path computation for multimodal travel systems. v. 175, p. 1705–1730, 2006.

CHWIF, L. Redução de Modelos de Simulação de Eventos Discretos na sua Concepção: Uma Abordagem Causal. **1999. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo**, n. July, p. 139, 1999.

CREMONESE, D. T. **Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estudos de simulação dinâmica na cadeia do minério de ferro**. [s.l.] USP - Universidade de São Paulo, 2014.

CYRIL, A. Electronic Ticket Machine Data Analytics for Public Bus Transport Planning. **2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)**, p. 3917–3922, 2017.

DAVID KOFFMAN. **OPERATIONAL EXPERIENCES WITH FLEXIBLE TRANSIT SERVICES**. [s.l.: s.n.].

DESSA, R. **4 Lessons From Deploying On-Demand Public Transit**. Disponível em: <<https://pantonium.com/4-lessons-from-deploying-on-demand-public-transit/>>, 2018.

FATNASSI, E. et al. **Exploring mobility networks inter-connectivity for an on-demand transshipment of goods in urban areas**. ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain. **Anais...**2016

GAO, Y. et al. **Green Intelligent Transportation Systems**. [s.l.] Springer Singapore, 2019. v. 503

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4a Edição ed. São Paulo: (2002).

JAN ERIK HAKEGARD. Statistical Modelling for Estimation of OD Matrices for Public Transport Using Wi-Fi and APC Data. **2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, p. 1005–1010, 2018.

HEIKKILÄ, S. Mobility as a Service-A Proposal for Action for the Public Administration Case Helsinki. p. 94, 2014.

J. M. HAMMERSLEY. Monte Carlo Methods for Solving Multivariable scenarios. 1964.

LI, X.; QUADRIFOGLIO, L. Feeder transit services: Choosing between fixed and demand responsive policy. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 18, n. 5, p. 770–780, 2010.

LI, Z.; HONG, Y.; ZHANG, Z. Do Ride-Sharing Services Affect Traffic Congestion? An Empirical Study of Uber Entry. **SSRN Electronic Journal**, p. 1–35, 2016.

MARQUES, J. No Title. **Diário do transporte**, 2019.

MORABITO NETO, R.; PUREZA V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P.

A. C (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia da produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 169-198.

MURPHY, S. F. AND C. **Shared Mobility and the Transformation of Public Transit**. Chicago: National Academic of Sciences, 2016.

NAVIDI, Z.; RONALD, N.; WINTER, S. Comparison between ad-hoc demand responsive and conventional transit: a simulation study. **Public Transport**, v. 10, n. 1, p. 147–167, 2018.

NELSON, B. L. M. Y. INPUT MODELING TOOLS FOR COMPLEX PROBLEMS. In: [s.l: s.n.]. p. 105–112.

NELSON, J. D. et al. Recent developments in Flexible Transport Services. **Research in Transportation Economics**, v. 29, n. 1, p. 243–248, 2010.

NTU. **Transporte Urbano**, 2018. Associacao Nacional das Empresas de Transportes Urbanos Anuario NTU: 2017-2018 / Associacao Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. - Brasilia: NTU, 2018. ISSN: 2317-8868

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Sciences**. John Wiley and Sons, Chichester, 5th edition, 2004.

QIU, F. et al. Demi-flexible operating policies to promote the performance of public transit in low-demand areas. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 80, p. 215–230, 2015.

SARGENT, R. G. **Verification and Validation of Simulation Models**. In: Proceedings of 2014 Winter Simulation Conference, 2014, Savannah, GA. pp 118-131. Disponível em:
<<http://informssim.org/wsc14papers/includes/files/013.pdf>>. Acesso em: 10/01/19.

SCHALLER, B. The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities. p. 41, 2018.

SHAHEEN, S.; CHAN, N. Mobility and the sharing economy: Potential to facilitate the first-and last-mile public transit connections. **Built Environment**, v. 42, n. 4, 2016.

THIOLLENT. Perspectivas da metodologia de pesquisa participativa e de pesquisa-ação na elaboração de projetos sociais e solidários. 2005.

UBER. Disponível em: <<https://www.uber.com/pt-BR/newsroom/fatos-e-dados-sobre-uber/>>. Acesso em: 9 fev. 2019.

VELAGA, N. R. et al. Development of an integrated flexible transport systems platform for rural areas using argumentation theory. **Research in Transportation Business & Management**, v. 3, p. 62–70, 1 ago. 2012.

WRIGHT, S. Designing flexible transport services: guidelines for choosing the vehicle type. **Transportation Planning and Technology**, v. 36, n. 1, p. 76–92, 2013.

YANG, H. et al. A GIS-based method to identify cost-effective routes for rural deviated fixed route transit. **Journal of Advanced Transportation**, v. 50, n. 8, p. 1770–1784, 2016.

ZHENG, Y. A Methodology for Choosing between Route Deviation and Point Deviation Policies for Flexible Transit Services. v. 2018, 2018.

ZOGRAFOS, K. G.; ANDROUTSOPOULOS, K. N. Algorithms for Itinerary Planning in Multimodal Transportation Networks. v. 9, n. 1, p. 175–184, 2008.